Association Internationale de Climatologie

XXXVIIIème COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE

LACEEDE

CLIMAT, AGRICULTURE, RESSOURCES EN EAU, TOURISME ET DÉVELOPPEMENT



ACTES DU COLLOQUE

8 - 12 Juillet 2025 – Abomey-Calavi - BENIN

NUMERO SPECIALE DE LA REVUE CLIMAT ET DEVELOPPEMENT

Colloque organisé par le Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eaux, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) de Université d'Abomey-Calavi (UAC) – Bénin

ISSN : 1840-5452

ISBN-10 : 99919-58-64-9

Editeurs Scientifiques

Constant HOUNDENOU, Expédit W. VISSIN & Ernest AMOUSSOU

Co-éditeurs scientifiques

Nouvêwa Patrice Maximilien BOKO, Dègla Hervé KOUMASSI, D. Japhet KODJA, Rafiatou BAMISSO, Akibou A. AKINDELE, Guy WOKOU, Imorou OUOROU BARRE F., Cyrile TCHAKPA, Vidédji Naéssé ADJAHOSSOU, Romaric OGOUWALE

© Photo couverture : Olive ADISSODA – LACEEDE – UAC- Avril 2025

CLIMAT, AGRICULTURE, RESSOURCES EN EAU, TOURISME ET DÉVELOPPEMENT

Composition du Comité scientifique international

ABDOULAYE	Djafarou	Université d'Abomey-Calavi
ADJAHOSSOU	Vidédji Naéssé	Université Nationale Des Sciences, Technologies, Ingénierie Et Mathématiques, Abomey, Bénin.
ADJAKPA	Théodore	CIFRED - Université d'Abomey-Calavi
AKINDELE	Akibou	Université d'Abomey-Calavi
AMOUSSOU	Ernest	Université de Parakou, Bénin
ATCHADE	A.A. Gervais	Université d'Abomey-Calavi
AZALOU TINGBE	Fanès	Université d'Abomey-Calavi
AZONHE	Thierry	Université d'Abomey-Calavi
BAMISSO	Rafiatou	Université d'Abomey-Calavi
BELLEFLAMME	Alexandre	Centre De Recherche de JüLich, Allemagne
BIGOT	Sylvain	Université Grenoble Alpes, France
BOKO	N. P. Maximilien	Université d'Abomey-Calavi
BONNARDOT	Valérie	Université Rennes 2, France
CAMBERLIN	Pierre	Université de Bourgogne, France
CANTAT	Olivier	Université de Caen Normandie, France
CARREGA	Pierre	Université de Nice, France
CHABI	A. Philippe	Université Nationale d'Agriculture (UNA)
CHARFI	Sami	Université de Sfax, Tunisie
DAHECH	Salem	Université Paris Cité, France
DIOBO EPSE DOUDOU	Kpaka Sabine	Université Peloforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire
DOUTRELOUP	Sébastien	Université de Liège, Belgique
DROGUE	Gilles	Université de Lorraine, France
DROUIN	Agathe	Météo France, France
DUBREUIL	Vincent	Université Rennes 2, France
ELY	Deise	Fabiana Université Londrina, Brésil
ETENE	Cyr Gervais	Université d'Abomey-Calavi
FALLOT	Jean-Michel	Université de Lausanne, Suisse
FOISSARD	Xavier	Université Grenoble Alpes, France
FORTIN	Guillaume	Université de Moncton, Canada
HENIA	Latifa	Université de Tunis, Tunisie
HOLOBACA	Iulian	Université de Cluj-Napoca, Roumanie
HOUNDENOU	Constant	Université d'Abomey-Calavi, Bénin
JOLY	Daniel	Université de Franche-Comté, France
KADJEGBIN	Roméo	Université d'Abomey-Calavi
KARAMBIRI	Chantal	Institut des Sciences des Sociétés -Burkina-Faso
KASTENDEUCH	Pierre	Université de Strasbourg, France
KERMADI	Saida	Université de Lyon 2, France

KODJA	D. Japhet	Université d'Abomey-Calavi
KOUMASSI	Hervé	Université d'Abomey-Calavi
MADELIN	Malika	Université Paris Cité, France
MAHERAS	Panagiotis	Université de Thessalonique, Grèce
MARTINY	Nadège	Université de Bourgogne, France
MENDONCA	Francisco	Université Fédérale de Parana, Brésil
MICHOT	Véronique	Université Paris Cité, France
MORON	Vincent	Université Aix-Marseille, France
NAJJAR	Georges	Université de Strasbourg, France
NICOLAS	Martin	Université Côte d'Azur, France
NORRANT	Caroline	Université de Lille, France
OGOUWALE	Euloge	Université d'Abomey-Calavi
OUOROU BARRE F.	Imourou	Université de Parakou, Bénin
PLANCHON	Olivier	Biogéosciences, France
QUENOL	Hervé	CNRS-Université Rennes 2, France
RAYMOND	Florian	Université Paris 8, France
RENARD	Florent	Université Lyon 3, France
RICHARD	Yves	Université de Bourgogne, France
RODRIGUES	Mutti Pedro	Université do Rio Grande, Brésil
ROME	Sandra	Université Grenoble Alpes, France
RONCHAIL	Josyane	Anciennement Université Paris Cité, France
SAGNA	Pascal	Université de Cheick Anta Diop, Dakar, Sénégal
SEBBAR	Adbelali	Direction Générale de la Météorologie, Maroc
SILVEIRA	Da Rocha	Université de Moncton, Canada
SOUBEYROUX	Jean-Michel	Météo-France Toulouse, France
TAPE	Pulcherie	Université Peloforo Gon Coulibaly, Côte d'Ivoire
TCHAKPA	Cyrile	Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Abomey, Benin.
TSIAVAHANANAHARY	Jorlin	Université de Mahajanga, Madagascar
ULLMAN	Albin	Université de Bourgogne, France
VARIN	Isabelle	Météo France, France
VISSIN	Expédit	Université d'Abomey-Calavi, Bénin
VODOUNON	Sourou Henri	Université de Parakou, Bénin
WOKOU	Guy	Université d'Abomey-Calavi
YABI	Ibouraima F.	Université d'Abomey-Calavi
ZAHARIA	Liliana	Université de Bucharest, Roumanie

Comité d'organisation

Pr Constant HOUNDENOU	Pr Ernest AMOUSSOU
Pr Expédit W. VISSIN	Pr Sourou Henri TOTIN V.
Pr Euloge OGOUWALE	Pr Christophe S. HOUSSOU
Pr Placide CLEDJO	Pr Fulgence AFOUDA
Pr Léocadie ODOULAMI	Pr Michel BOKO
Pr Ibouraïma YABI	Dr (MC) Romaric OGOUWALE
Pr Thierry AZONHE	Dr (MC) N. M. Patrice BOKO
Pr Sidonie HEDIBLE	Dr (MC) Guy WOKOU
Pr Cyr Gervais ETENE	Dr Domiho Japhet KODJA
Pr Issa MAMA	Dr (MC) V. Naéssé ADJAHOSSOU
Dr (MC) Imorou OUOROU BARRE F.	Dr (MC) Hervé KOUMASSI
Dr (MC) Cyrile TCHAKPA	Dr (MC) Rafiatou BAMISSO
Dr (MA) Gervais ATCHADE	Dr (MC) Akibou AKINDELE
Dr (MC) Mathias TOFFI	Dr (MC) Djafarou ABDOULAYE
Dr (MC) Florentine Adjouavi HOUEDENOU	Dr (MC) Pulchérie Sophie TAPE
Dr (MC) Louis AHOMADIKPOHOU	Dr (MC) Victorien GBENOU
Dr (MC) Florence GBESSO	Dr (MC) Pascal GBENOU
Dr (MC) Maurice AHOUANSSOU	Dr (CR) Naboua KOUHOUNDJI
Dr (CR) Chantal KARAMBIRI	Dr (MA) Jean SODJI
Dr (MA) H. Martin ASSABA	Dr Barnabé HOUNKANRIN
Dr (MA) Donatien AZIAN	Dr Olive ADISSODA
Dr (MA) Françoise VALEA	Dr Hervé KOUDJEGA
Dr Waïdi SEYDOU	Dr Frédérick LODOUHOUE
Dr Aristide KOUTON	Dr Marc SOHOUNON
Dr Saturnin AGBOMAHENAN	Dr Hilaire AIMADER
Dr Fanes AZALOU TINGBE	Dr Gildas J. BOKO
Dr René ZODEKON	Dr Emile EDEA
Dr Pierre OUASSA	Dr Fidèle MEDEOU
Dr Landry KIKI	Dr Emile ATIYE
Dr Blaise DONOU	Dr Mathieu LANOKOU
Dr Luc DOUGNON	Dr Brice DANSOU
Dr Ingrède WANKPO	Dr Jaurès TANMAKPI
Dr Baké Adissatou SARE	Dr Flore DOVONOU MEHINTO
Dr Moussa WARI ABOUBAKAR	Dr Rufine SEDJAME
Dr Florent HOUESSOU	Dr Gbènagnon Aristide KOUTON
Dr Olivier KOUDAMILORO	Dr Jean-Eude OKOUNDE
Dr Florentin TOTIN	Dr Emmanuel SOVI
Dr Arsène AKOGNONGBE	Dr Justine VODOUNON

Association Internationale de Climatologie

XXXVIIIème COLLOQUE DE L'ASSOCIATION INTERNATIONALE DE CLIMATOLOGIE

LACEEDE

CLIMAT, AGRICULTURE, RESSOURCES EN EAU, TOURISME ET DÉVELOPPEMENT

Actes du colloque organisé à Université d'Abomey-Calavi du 8 au 12 juillet 2025

Editeurs scientifiques

Constant HOUNDENOU, Expédit W. VISSIN & Ernest AMOUSSOU

Co-éditeurs scientifiques

Nouvêwa Patrice Maximilien BOKO, Dègla Hervé KOUMASSI, D. Japhet KODJA, Rafiatou BAMISSO, Akibou A. AKINDELE, Guy WOKOU, Imorou OUOROU BARRE F., Cyrile TCHAKPA, V. Naéssé ADJAHOSSOU, Romaric OGOUWALE

En partenariat avec :

Participation à la finalisation de l'ouvrage : Ernest AMOUSSOU & D. Japhet KODJA

Logo du Colloque : Henri S. TOTIN VODOUNON **&** Nouvêwa Patrice Maximilien BOKO

Les opinions défendues dans cet ouvrage n'engagent que les auteurs ; elles ne sauraient être imputées aux institutions auxquelles ils appartiennent ou qui ont financé leurs travaux.

Introduction

XXXVIIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : CLIMAT, AGRICULTURE, RESSOURCES EN EAU, TOURISME ET DÉVELOPPEMENT

Abomey-Calavi, Bénin, 08 - 12 juillet 2025

Ce volume rassemble les 132 résumés élargis acceptés pour les communications orales et posters. Les effets des changements climatiques, la variabilité du climat et leurs impacts sur les activités humaines sont des sujets cruciaux. Les colloques de l'AIC permettent de faire le point sur ces événements climatiques extrêmes et leurs conséquences sur les paramètres climatiques et les milieux naturels. Au-delà des impacts négatifs. Les débats du colloque visent une vision équilibrée du climat et une analyse sereine de son évolution et de ses impacts. Les textes et les participants émanent d'une vingtaine de pays. Il s'agit de : Belgique, Bénin, Brésil, Burkina Faso, Canada, Congo Brazzaville, Côte d'Ivoire, France, Guinée, Madagascar, Mali, Maroc, Niger, Nigéria, Roumanie, Sénégal, Tchad, Togo, Tunisie.

Organisé sous l'égide de l'Association Internationale de Climatologie (AIC) par le Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eaux, Écosystèmes et Développement (LACEEDE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), ce 38ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC) s'est tenu à l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), du 8 au 12 juillet 2025. Ce colloque s'inscrit dans les préoccupations environnementales majeures actuelles concernant les effets des changements climatiques. Chaque année, l'AIC rassemble d'éminents chercheurs pour discuter de la climatologie, une discipline transversale essentielle à toute étude environnementale.

Le thème principal de cette 38ème édition est "CLIMAT, AGRICULTURE, RESSOURCES EN EAU, TOURISME ET DÉVELOPPEMENT". Les sous-thèmes abordés sont : • *Climat et agriculture, •Climat et ressources en eau, •Événements climatiques extrêmes et leurs impacts, •Topoclimatologie, • Climat et tourisme, •Climat et santé.*

L'équipe du Laboratoire Pierre Pagney Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE) s'est portée volontaire pour l'organisation de cette manifestation. Le LACEEDE a développé un axe de recherche dans les domaines des risques climatiques et des changements globaux, avec des travaux portant sur la relation climat-développement, l'impact de la variabilité/changement climatique sur la production agricole, les ressources en eau, la dynamique des écosystèmes et les bioclimats. Ce colloque s'inscrit pleinement dans les thématiques de recherche du LACEEDE, notamment l'étude des interactions Climat-Environnement.

L'excursion scientifique et touristique post-colloque prévues les 11 et 12 juillet 2025 permettra de découvrir Dassa-Zoumé (ville des 41 collines) et redécouvrir Ouidah (cité de vodoun).

Ce colloque a pu être réalisé grâce au soutien de nombreuses entités, incluant les tutelles ministérielles et universitaires, des organisations internationales, les collectivités territoriales et divers partenaires. Nous remercions chaleureusement l'ensemble du Comité Scientifique pour la relecture et la correction des textes, ainsi que le Comité d'Organisation pour leur disponibilité et collaboration. **Bon colloque !**

Pr Expédit W. VISSIN

RESUMES ELARGIS DES COMMUNICATIONS

CLIMAT ET AGRICULTURE

CARACTERISATION DES RISQUES AGROCLIMATIQUES SUR LES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES DU BASSIN VERSANT GABI (SUD-MARADI AU NIGER)

Amadou ABDOU BAGNA

Département de Géographie, Ecole Normale Supérieure, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, BP 10963, Email: amadoubagna@gmail.com

Résumé : *Au Sahel, la variabilité et changement climatiques représentent une grande menace pour le secteur agricole. Les risques climatiques constituent un sujet de préoccupation majeure et d'actualité en milieu paysan. Ils ont des impacts considérables sur les économies, notamment l'agriculture. Depuis la fin des sécheresses des années 1970; 1984 et 2005, les perturbations climatiques rendent difficiles les opérations agricoles dans cette zone. La méthodologie s'appuie sur l'analyse de la pluviométrie (1983-2018), complétée par une enquête auprès de 120 exploitants et 8 conseillers agricoles. Les outils R, Xlstat et Sphinx V5 ont été utilisés pour le traitement des données. Les résultats révèlent un début de plus en plus tardif, une fin précoce des saisons agricoles et une forte variabilité pluviométrique. Pour y remédier, les producteurs développent des stratégies d'adaptation afin optimiser les productions.*

Mots clés *: Goulbi, risques climatiques, adaptation.*

Abstract: Characterisation of agroclimatic risks on small farms in the Gabi Catchment Area (South Maradi, Niger). *In the Sahel, climate variability and change pose a major threat to the agricultural sector. Climate risks are a major and topical concern for farmers. They have a considerable impact on economies, particularly agriculture. Since the end of the droughts of the 1970s, 1984 and 2005, climatic disturbances have made agricultural operations in this area. The methodology is based on rainfall analysis (1983-2018), supplemented by a survey of 120 farmers and 8 agricultural advisors. R, Xlstat and Sphinx V5 tools were used for data processing. The results reveal an increasingly late start, an early end to the agricultural seasons and high rainfall variability. To remedy this situation, growers are developing adaptation strategies to optimize production.*

Key words: *Goulbi, climate risks, adaptation.*

Introduction

La variabilité climatique est l'un des phénomènes les plus importants de notre époque. En Afrique, elle représente une grande menace pour la croissance et le développement durable, ainsi que pour l'atteinte des Objectifs du Développement Durable (ODD). En effet, selon GIEC (2007), les communautés pauvres seront les plus vulnérables du fait de leurs capacités d'adaptation limitées et leur grande dépendance aux ressources à forte sensitivité climatique telles que l'eau et les systèmes de production agricole. Dans la plupart des pays africains et régions de ce continent, on s'attend à ce que la production agricole et l'accès à la nourriture soient sérieusement compromis par la variabilité du climat. Au Niger où l'agriculture constitue la base de l'économie avec une contribution de 40% au Produit Intérieur Brut, les impacts négatifs du changement climatique ne sont plus à démontrer. Du moment où l'agriculture au Niger reste essentiellement pluviale, les saisons des pluies présentent des particularités contraignantes pour les producteurs. Les travaux de Brou et al., (2005), Ogouwalé (2006), Vissin (2007), Ali et al., (2008) et Bagna, 2016 ont montré que les climats en région soudano-sahélienne et sahélienne sont caractérisés par une variabilité pluviométrique, une réduction de la durée de la saison agricole et une hausse des températures. Depuis la fin des années 1960, la région Sahélienne connaît une accentuation de la variabilité climatique. Cette récession pluviométrique semble s'accentuer dès le début des années 1970. En effet, dans une société en grande partie agraire et où la dépendance face au climat est la plus forte en première la pluie, la gamme de la variabilité climatique allant de l'échelle intra-saisonnière à l'interannuelles impacte sur les systèmes de production déjà précarisés (Bagna, 2016). Au Niger, les grandes sècheresses et crises alimentaires des années 1973; 1984-1985 et 2005, illustrent la vulnérabilité du pays face à la péjoration climatique (Ali *et al.,* 2008; Bagna, 2016). A cela s'ajoutent une

modification du régime des précipitations, une diminution des cumuls annuels, des débuts tardifs et des fins précoces des saisons agricoles. La dégradation des conditions climatiques observée dans cette partie du Niger soulève davantage la question de péjoration climatique et de ses incidences.

De ce fait, l'agriculture subit de plein fouet, les contrecoups de la variabilité climatique, notamment celle des précipitations. Par conséquent, le secteur agricole se trouve confronté à des baisses de rendement de plus en plus remarquables du fait des pratiques culturales (Bagna, 2016). Cette situation conduit les paysans vers les bas-fonds et les plaines inondables très fertiles qui offrent des possibilités agricoles. Ces zones représentent des atouts incontestables pour la production agricole (Sossa, 2001). Dès lors, cette étude se propose d'identifier et analyser les risques climatiques liés à la baisse des cumuls, s'interroger sur les perceptions et les réponses mises en œuvre à l'échelle des petites exploitations agricoles.

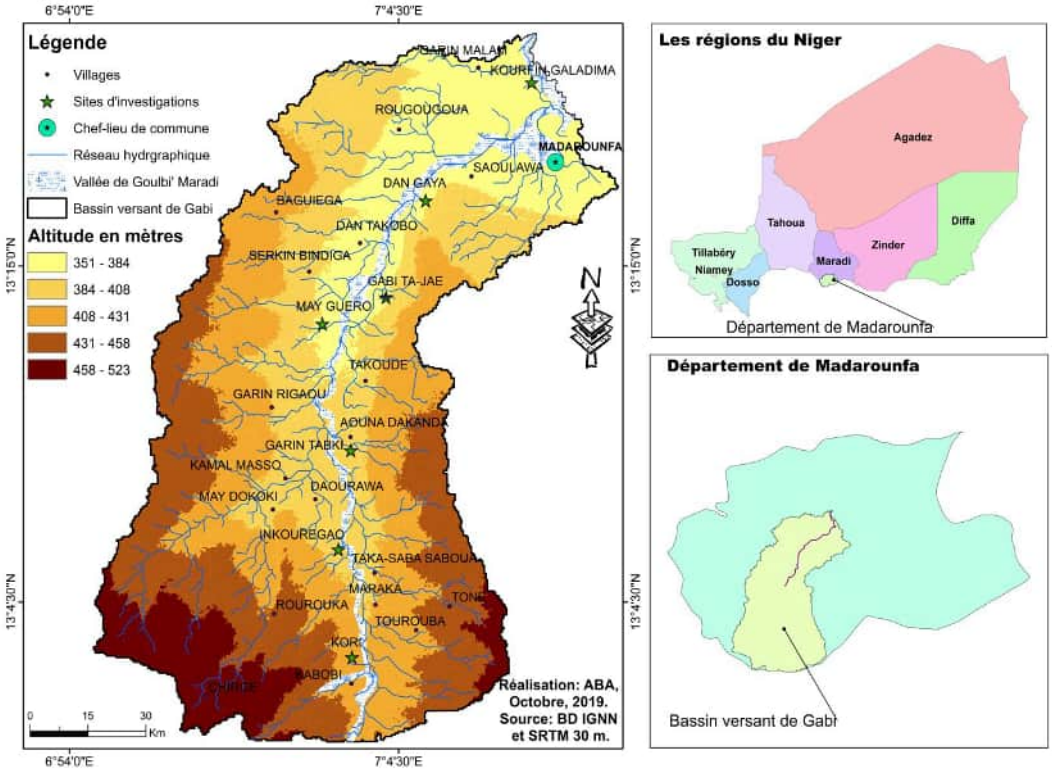


Figure 1. Localisation de la zone d'étude, des stations climatiques et des villages étudiés

2. Matériels et méthodes

Dans le cadre de cette étude, deux types de données ont été utilisés, à savoir la pluviométrie journalière de deux (02) stations (Maradi et Madarounfa) qui sont des relevés des pluies journalières avec une chronique de 35 ans, de 1983 à 2018) (DMN). L'autre donnée, concerne les perceptions des producteurs de la variabilité climatique. Quant à la méthodologie utilisée, elle a consisté d'abord à la collecte des données (entretiens et questionnaires) auprès de 150 producteurs agricoles, traitées et analyser avec Sphinx. Elle a été complétée par l'analyse de la variabilité pluviométrique et des risques agroclimatiques avec R, Xlstat.

- Les données relatives à la perception de la variabilité climatique ont été collectées en deux phases principales. La première phase a consisté en des entretiens de groupes (focus group). La deuxième fut celle de l'administration du questionnaire individuel aux d'exploitants agricoles et portait sur les caractéristiques socio-économiques de l'exploitation agricole, sur les perceptions de la variabilité 7 villages du bassin versant.

- Les outils R et Xlstat ont servi à l'analyse de la variabilité et des risques agroclimatiques. Pour cela, l'indice de Lamb (1982). C'est un indice centré réduit qui permet de suivre l'évolution générale de la pluviométrie et permet de distinguer les années humides des années sèches. Le calcul de ces anomalies a pour formule : $\boldsymbol{I} = (\boldsymbol{x} - \bar{\boldsymbol{x}})/\boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{x})$. Avec **I** : l'indice de Lamb, $\bar{\boldsymbol{x}}$: la moyenne pluviométrique, $\boldsymbol{x}$: la somme arithmétique des hauteurs pluviométriques et $(\boldsymbol{x})$: l'écart-type de série. Ainsi, on a I > 0 pour les années humides et I< 0 pour les années sèches.

3. Résultats et discussions

3.1. Les anomalies pluviométriques

A Guidan Roumdji, 14 années sur 30 ont un score positif. Les plus importants sont observés en 1985, 1993, 1997, 1998,1999 et 2000. Le score, dans la seconde partie de la série, est faible (Figure 2.4). A Madarounfa, 15 années sur 30 ont un score positif (Figure 2). Les valeurs les plus importantes sont enregistrées en 1994, 1999, 2001, 2003,2006 et de 2010 à 2012. Les plus faibles scores positifs sont observés en 1988, en 2002, en 2005 et en 2012 avec respectivement 9,7 mm ; 4,1 mm ; 5,9 mm ; et 39,4 mm (Figure 2.2). A Maradi 17 années sur 30 ont un score positif. Les plus importants scores sont observés en 1989 ; 1992 ; 1999 ; 2001 ; 2003 ; 2007 et 2010. Les faibles valeurs positives sont enregistrées en 1986, 1988, 1991, 1997 ; 2006 et 2009 (Figure 2.3).

Les années sèches sont, en général, plus nombreuses que les années humides dans beaucoup de stations de la région de Maradi. Ces anomalies négatives sont disparates à l'échelle des stations d'étude. En effet, les anomalies pluviométriques négatives ne présentent pas les mêmes caractéristiques dans le temps (d'une année à une autre) et dans l'espace (à l'échelle des différentes stations étudiées). 17 années sur 30 présentent des anomalies négatives à Aguié, 14 années sur 30 à Dakoro, 16 années 30 à Guidan Roumdji, 15 années sur 30 Madarounfa, 14 années 30 à Maradi, 15 années 30 à Mayahi et 18 années sur 30 à Tessaoua. Il faut souligner que les différentes stations concernées, n'observent pas ces déficits de la même manière, bien qu'on enregistre quelques concordances sur ces années à anomalies négatives. A Guidan Roumdji, la série est caractérisée par de déficit de 1983 à 1996 à l'exception de 1985, 1989; 1990; 1993 et 1994. A partir de cette date, on a assisté à une alternance entre les années déficitaires et excédentaires.

Il faut aussi souligner que 16 années sur 30 présentent des anomalies négatives à Guidan Roumdji. A Madarounfa, 50% des années de la série présentent des anomalies négatives. Les années 1983,1987 sont caractérisées par des scores négatifs. A partir de cette date, une année sur trois(3) est déficitaire. Le retour des anomalies positives est observé de 2010 à 2012. A Maradi, les années 1983 à 1985 sont particulièrement sèches avec des anomalies qui varient de 106,9mm à 200,5mm (Figure 2.3). En effet, notons que depuis la fin de la grande sécheresse de 1984-1985, on a observé une alternance des anomalies négatives et positives de 1986 à 2012. Mais il faut souligner une légère amélioration des tendances de 2005 à 2012 avec moins d'anomalies négatives. Actuellement, la tendance pluviométrique montre, dans certaines stations, un retour vers les normes des années humides.

Cependant, cette amélioration des totaux pluviométriques annuels semble être partiellement le fait d'une intensité des pluies plus importante, alors que la longueur de la saison des pluies n'a pas évolué par rapport aux décennies de sécheresse. Cette variabilité pluviométrique observée dans la zone d'étude est conforme à ce qui a été observé dans la plupart des travaux sur le régime des précipitations de la sous-région de l'Afrique de l'Ouest (Servat et al., 1998 ; Vissin, 2007 ; Vissin et al., 2007; Noufé et al., 2011) et particulièrement au particulièrement au Niger par Le Barbé et al. (2002) et Bagna (2016) qui ont montré qu'au Niger, les vingt années

(1971-1990) sont plus sèches que les vingt précédentes, et cela sans changement de la longueur de la saison des pluies.

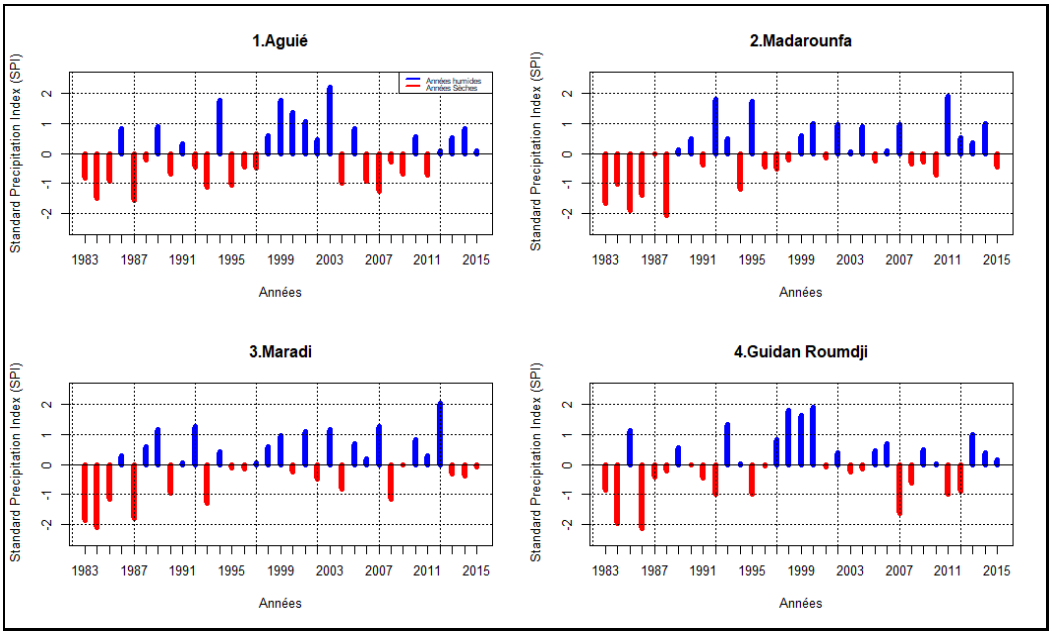


Figure 2. Anomalies pluviométriques dans les stations étudiées

3.2. Des risques perçus en milieu agricole

Dans le bassin versant de Gabi, les producteurs agricoles sont conscients des risques climatiques qui pèsent sur leur activité. Ainsi, les risques les plus fréquents demeurent les poches de sécheresse, la fin précoce de l'hivernage et l'asséchement précoce des bas-fonds pour les cultures de décrue.

Par exemple, les producteurs interrogés affirment avoir perçu la fréquence des séquences sèches ou poches de sécheresse à 74% (Figure 3). S'agissant des pauses pluviométriques ordinaires moyennes (8 à 14 jours) et majeures (15 jours), elles sont plus fréquentes dans les zones soudanienne et sahélienne de l'Afrique de l'Ouest (Salack et al., 2012). En effet, ce type de risque climatique expose les agriculteurs à la perte des cultures et au resemis. Dans un contexte de pauvreté quasi permanente chez la plupart des producteurs en région sahélienne, les opérations de resemis ne sont pas toujours une évidence. La péjoration climatique est donc est une réalité au Niger. En effet, l'analyse des données observées et des perceptions du changement climatique par les producteurs agricoles du Centre-sud Niger à travers la baisse et l'irrégularité des pluies, l'arrêt précoce des pluies, la fréquence plus élevée des séquences sèches confirme les travaux antérieurs de West et al., 2008 ; Nielsen et Reenberg, 2010 ; Ouédraogo et al., 2010 et Sarr et al., 2015 au Sahel. La période 1994-2015 est caractérisée par une alternance des années sèches et des années humides, traduisant une variabilité interannuelle plus forte de la pluviométrie dans la région a été rapporté par Kaboré et al., (2017) dans le Centre-nord du Burkina Faso.

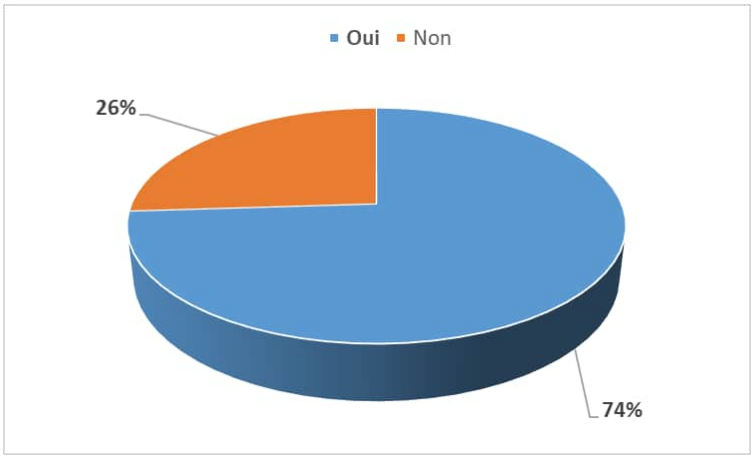


Figure 3. Perceptions des séquences sèches ou pauses pluviométriques

3.3. Des réponses agricoles au niveau des exploitations familiales face aux risques climatiques persistants

Pour faire face aux contraintes climatiques, les exploitants agricoles font recours à plusieurs stratégies dont les principales sont le semis précoce, l'association des cultures, notamment les légumineuses avec les céréales tels que le mil (Photo 1) ; ou certaines cultures de rentes (Piment, tabac, etc.) avec le maïs (Photo 2). A ces stratégies d'adaptation, s'ajoutent l'utilisation des variétés nouvelles ou améliorées permettant ainsi une intensification de la production agricole. Enfin, les investigations de terrain ont permis la mise en évidence de la pratique de l'irrigation comme stratégie de production en saison sèche. Les producteurs affirment à 73 % exploiter les bas-fonds pour compenser du fait de la faciliter d'irrigation afin le déficit agricole issu de la production pluviale (*Source: Enquête terrain, décembre 2024*). En effet, selon les producteurs à enquêtés à Gabi et Djirataoua, cette stratégie leur permet de se procurer des revenus additionnels. Ces résultats sont partagés par Ogouwalé E., (2006), Séraphin et *al.,* (2017) qui ont montré que la pluie est le premier facteur du climat qui conditionne l'exercice de la profession agricole. Donc, les conditions climatiques déterminent celles de l'agriculture, principale activité des populations.





Photo 1. Association mil-niébé et oseille **Photo 2.** Association maïs-piment et tabac en culture Pluviale

Clichés : ABDOU BAGNA Amadou, Août, 2024

Conclusion

Les présents travaux ont révélé une forte variabilité pluviométrique caractérisée par une succession des années déficitaires et des années excédentaires dans les stations couvrant la zone d'étude. Les producteurs agricoles du bassin versant de Gabi à Maradi (Centre-sud Niger) perçoivent le changement climatique à travers la baisse des pluies, les poches de sécheresse, la fin précoce de l'hivernage et l'asséchement précoce des bas-fonds. Ces aléas climatiques ont un impact négatif sur le milieu biophysique avec des répercussions sur la production agricole. Cette étude a montré que les agriculteurs perçoivent les risques climatiques sur les exploitations

familiales et adoptent des mesures palliatives de resilience. Les principales stratégies d'adaptation sont l'association des cultures (céréales et associés aux cultures de rente), l'adaptation variétale et la pratique des cultures irriguées ou de décrue. En terme de perspective, la question qu'on se pose est de savoir si ces stratégies suffiront-elles pour faire face aux évènements climatiques extrêmes. D'où, la nécessité de bien évaluer les limites de ces stratégies en vue de proposer d'autres plus efficaces.

Bibliographie

ABDOU BAGNA Amadou, 2016, Impacts de variabilité climatique sur les systèmes de production agricole de la Korama (Sud-Zinder) au Niger, thèse de doctorat unique, Géographie, université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 272 p.

ALI Abdou, LEBEL Thierry et AMANI Abou, 2008, Signification et usage de l'indice pluviométrique au Sahel. Sécheresse, 19, 4, pp. 227-235.

Benoît Sarr, Sanoussi Atta, Mohamed Ly, Seyni Salack, Timothée Ourback, Sébastien Subsol, and David Alan George, 2015, Adapting to climate variability and change in smalholder farming communities : A case study from Burkina Faso, Chad and Niger (CVADAPT), Journal of Agricultural Extension and Rural Development, vol. **7, 1,** pp. 16-27.

BROU Yao Télesphore, AKINDES Francis, BIGOT Sylvain, 2005, La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles, Cahiers Agricultures vol. 14, n° 6, novembre-décembre 2005, pp. 533-540.

GIEC 2007. Résumé à l'intention des décideurs, In : M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P.Palutikof, P.J. van der Linden, et C.E. Hanson (Eds.), Bilan des changements climatiques: impacts, adaptation et vulnérabilité, Rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni, p 114.

Kaboré, P.N., A. Ouédraogo, M. Sanon, P. Yaka. et L. Somé, 2017, Caractérisation de la variabilité climatique dans la région du Centre-Nord du Burkina Faso entre 1961 et 2015, Climatologie, **14,** pp. 82-95.

Nielsen, J. A. et A. Reenberg, 2010, Temporality and the problem with singling out climate as a current driver of change in a small West African village, Journal of Arid Environments, **74**, pp. 464-474.

Le Barbé L, Lebel T, Tapsoba D. 2002. Rainfall Variability in West Africa during the Years, 1950-1990. Journal of Climate, **15**: 187-202.

Ogouwalé Euloge (2006) : Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire, Thèse de doctorat unique École Doctorale Pluridisciplinaire d'Université d'Abomey-Calavi, 302 p.

Ouédraogo, M., Y. Dembélé et L. Somé, 2010, Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso, Sécheresse, **21, 2**, pp. 87-96.

Séraphin Capo ATIDEGLA, Hervé Dègla KOUMASSI et Elvire Sènan HOUSSOU, 2017, Variabilité climatique et production maraîchère dans la plaine inondable d'Ahomey-Gblon au Bénin, Int. J. Biol. Chem. Sci. **11(5):** 2254-2269, DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.24.

Servat E, Paturel J, Kouame B, Travaglio M, Ouedraogo M, Boyer J, Lubes-Niel H, Fritsch J, Masson J, Marieu B. 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. IAHS Publication, 323–338.

Sossa B. 2001. Contribution à la mise en valeur de la plaine d'inondation du lac Toho à Kponou (S/P Athiémé, Département du Mono), Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UNB, p 84.

Vissin E, Houndenou C, Perard J. 2007. Sécheresse pluviométrique et tarissement dans le bassin de la Mékrou (Bénin, Afrique de l'Ouest). Actes du 10ème Colloque de AIC, Cathage Tunis ; 568-573.

West, C.T., C. Roncoli et F. Ouattara, 2008, Local perceptions and regional climate trends on the Central Plateau of Burkina Faso, Land degradation & Development, 11p.

Wokou Cossi Guy, Chabi Ayédêguê Biaou Philippe, Didehou Yaya Mansour, Yabi Ibouraïma, Sagna Pascal et Afouda Fulgence, Perceptions paysannes des manifestations intra-saisonnieres des Pluies dans la commune de Tori Bossito au Bénin, Annales de la FASHS Volume 2, Décembre 2021, 18 pages.

RESILIENCE DES JEUNES SANS EMPLOI CONVERTI DANS L'AGRICULTURE FAMILIALE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE DEPARTEMENT DU PLATEAU (SUD-BENIN)

Worou Hervé AFOUDA [12]*, Guy WOKOU [1], Y Ibouraïma ABI [1], Thiou Tanzidani Komlan TCHAMIE[2]

[1]Laboratoire Pierre Pagney ''Climat, Eau, Ecosystème et Développement" (LACEEDE), Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université d'Abomey-Calavi (UAC-Bénin), afoudafr@gmail.com Contact :+2290197170981

[2]Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Études Environnementales (LaRBE), Université de Lomé

Résumé : *L'agriculture béninoise, malgré les changements climatiques, reste une solution clé pour l'emploi des jeunes. Cette étude identifie les piliers de résilience des jeunes dans l'agriculture familiale via une enquête auprès de 380 ménages, analysée avec l'indice RIMA (FAO). Les résultats montrent que : Jeunes hommes : résilience portée par la sécurité alimentaire (54%), les filets sociaux (36%) et l'adaptation (10,5%). Jeunes femmes : dépendent surtout de l'adaptation (70%) et des filets sociaux (25%). L'accès aux services de base (ASB) doit être renforcé pour améliorer la résilience dans le Plateau.*

Mots clés *: Changement climatique Résilience, Jeune, emploi, agriculture familiale, Plateau*

Abstract: Resilience of unemployed young people converted to family farming in the face of climate change in the plateau department (Southern Benin). *Beninese agriculture, despite climate change, remains a key solution for the employment of young people. This study identifies the pillars of resilience of young people in family farming through a survey of 380 households, analyzed with the Rima (FAO) index. The results show that: young men: resilience carried by food security (54%), social nets (36%) and adaptation (10.5%). Young women: especially depend on adaptation (70%) and social nets (25%). Access to basic services (ASB) must be reinforced to improve resilience in the set.*

Keywords: *Climate change resilience, youth, employment, family farming, Plateau*

Introduction

Le secteur agricole béninois, qui fournit 70% des emplois (FAO, 2018), fait face à des défis majeurs : 3,2% de chômage chez les jeunes hommes (Banque mondiale, 2020), accès limité au crédit (5% des jeunes empruntent), et forte précarité (357 000 emplois informels sur 984 000 - InSTaD, 2023). Le changement climatique aggrave la situation avec inondations, sécheresses et pluies irrégulières (Yabi et al., 2019).

Dans le Plateau (sud-est Bénin), quatre problèmes persistent : précarité de l'emploi, conditions de travail dégradées, difficultés d'accès au capital et érosion des droits des travailleuses (INSAE, 2009; BM, 2022; OIT, 2023). Malgré un chômage rural plus faible (1,4% vs 3,2% urbain en 2015), les jeunes migrent vers les pôles économiques (Nigeria, Cotonou).

Cet article analyse comment les jeunes agriculteurs familiaux résistent aux chocs climatiques et économiques, tout en évitant l'exode rural. Il présente : 1) la méthodologie et contexte climatique local, 2) les piliers de résilience, et 3) des perspectives.1. Présentation du milieu d'étude et approche méthodologique

1.1. Présentation du milieu d'étude

Le cadre de recherche est situé en terre Béninoise et appélé département du Plateau se trouve entre 2°25' et 2°50' de longitude Est et 6°32' et 7°42' de latitude Nord. Le Plateau fait partie des 12 départements que compte la république du Bénin. Le secteur primaire est occupé par 48 % de la population active (INSAE, 2016, p. 4). Ce département est limité à l'Ouest par trois départements (Ouémé, Zou et Collines) et à l'Est par la république fédérale du Nigéria

contiguë à quatre communes parmi les cinq que compte le département et qui constitue un débouché très important pour des produits agricoles et l'emploi des jeunes.

1.2. Méthodologie

Les principaux éléments utilisés pour meubler la méthodologie sont constitués des investigations livresques et scientifiques dans les laboratoires de recherche de l'Université d'Abomey-Calavi, dans les centres de documentations de la FAO et sur internet. Plusieurs données et techniques ont été mobilisées pour meubler les différents piliers de l'indice de résilience identifiés sur l'Accès aux services de base (ABS) dont -Accès des ménages aux sources d'eau (robinet public, forage, puits protégés) , - type de toilette utilisée par le ménage, accès à l'électricité du ménage, distance en minute entre le logement et les services les plus proches , les actifs (AST) notamment possession de biens durables comme des bicyclettes, mobile, des bœufs, charrues à bœuf, machette, disponibilité des semences auprès des ménages (traditionnelles/ locales), achat des pesticides /herbicides par le ménage, Achat de l'engrais et aliment pour bétail auprès du ménage, Superficie totale en ha louée, hérité ou acheté , le nombre de chèvres ou ovins, de poulet disponible et le Filets de Sécurité Sociales (SSN) dont montant total de transferts monétaires reçus par l'un des membres jeunes du ménage au cours des 12 derniers mois, la fréquence de réception de ce montant de transfert (formel ou informel) au cours des 12 derniers mois, Le nombre de parents / amis ou membre de la famille sur qui compter en cas de besoins, et le pilier Capacité d'adaptation (AC)) notamment l'instruction (lire/ écrire ou alphabétisé) et le niveau d'instruction du chef du ménage, le nombre d'année de scolarisation des jeunes sans emploi dans le système éducatif formel ou non formel Sécurité alimentaire (FS) notamment l' inquiétude de ne pas manger un repas par manque d'argent au niveau des membres du ménage, Amortissement des chocs au sein du ménage, Caractéristiques démographiques, *données relatives aux effets des impacts du climat* sur les rendements des cultures aliments de base du secteur d'étude comme *Elaesis guineensis* (Palmier à Huile), *Manihot esculenta* (Manioc) sous forme de racine ou de boutures, Arachis hypogaea L (Arachide), *Vigna unguiculata* (L) (Niébé) et *Zea mays* (Maïs) de 90 jrs, ou de 60 jrs.)

1.3. Logiciels et techniques utilisés

La technique utilisée est fondée sur des entretiens directs et des focus groups au sein de la population cible de jeunes instruits ou non, à travers un guide d'entretien et de questionnaires d'enquêtes élaborés pour la circonstance. Comme outils de traitement des données utilisés ; le tableur Excel et le logiciel XLSTAT, 2014

1.4. Echantillonnage

. Un échantillon de 380 ménages agricoles familiaux a été exploré dans le département. Il a été obtenu à partir de la formule de D. Schwartz, 1995, p.314 qui est la suivante : $N=\frac{t^2 p(1-p)}{\alpha^2}$ avec N = taille de l'échantillon ; t = niveau de confiance à 95 % (valeur type de 1,96) ; p= la proportion de la population spécifiquement concernée par l'étude comme mentionnée dans le tableau 1.

Tableau 1. Répartition des exploitants agricoles familiaux enquêtés par commune

Commune considérée	Adja-Ouèrè	Ifangni	Kétou	Pobè	Sakèté	Total
Ménages agricoles	9427	3548	15712	10822	5310	44819
Effectif de ménages agricoles choisis	80	30	133	91	45	380

Source : adaptée de INSAE, RGPH4, 2013) 2016

L'investigation portée sur les jeunes sans emploi convertis dans l'agriculture familiale dans le département du Plateau couvre un total de 380 ménages d'exploitants agricoles familiaux choisis de façon aléatoire dans les arrondissements indiqués dans le tableau 1.

1.5. Traitements et analyse des résultats

Le traitement et l'analyse des résultats ont été effectués par l'outil d'analyse de résilience en anglais Resilience Index Measurement and Analysis (RIMA) noté RCI. RIMA adopte une approche quantitative pour mesurer la résilience des ménages et particulièrement celui des jeunes convertis dans l'activité de l'agriculture familiale. Cette analyse se fonde sur le calcul du poids et score de chaque pilier de cet indice de capacité de résilience. L'échelle d'appréciation de l'indice RIMA est comprise entre 0 et 100 % (FAO, 2016). Le protocole statistique de calcul de la résilience au niveau des piliers est établi à partir des équations 1 et 2 ci-après :

Equation 1 : Score du poids de chaque pilier = $\sum \frac{\frac{(xmax-xi)}{(xmax-xmin)}}{N}) \times 100$ (adapté de M. Mondal, A. Biswas, S.Mondal et *al*, 2023 p.7 avec x_{max} = valeur maximale de la variable et x_{min}= valeur minimale de la variable

Equation 2 : $RCI_{(Hommes,Femme,jeunes\ convertis)} = \sum_1^n (scores\ des\ piliers_{(ABS,AC,AST,FS)})$ (adapté de M. Mondal, A. Biswas, S.Mondal et *al*, 2023 p.7)

2-Résultats

2.1. Conditions climatiques du secteur

Les hauteurs de précipitations sur la période 1940-2020 varient de 2149 mm à Sakété pour atteindre la plus faible valeur 587mm à Kétou. Le coefficient de variation (CV) des hauteurs pluviométriques interannuelles varient entre 20, 5 à Pobè contre 24 à Saké dans le département du Plateau. Les deux extrêmes pluviométriques montrent clairement les changements brusques qui peuvent affecter la production agricole dans le secteur au cours d'une année. Les deux pics engendrent respectivement les risques climatiques tels que l'inondation et la sécheresse.

2.2. Facteurs de vulnérabilité actuelle de la production agricole du département du Plateau

La vulnérabilité de la production agricole dans le département du Plateau puise sa source dans plusieurs facteurs tant en termes d'exposition, de sensibilité et de la capacité d'adaptation existante. Ainsi, les facteurs qui rendent la production agricole des exploitants familiaux vulnérable sont de plusieurs ordres à savoir le capital humain et technologies des exploitants familiaux notamment la taille des exploitations, l'accès aux terres agricoles, l'accès aux technologies d'adaptations. A ces facteurs, il faut ajouter l'accès aux intrants agricoles notamment les aménagements hydroagricoles avec maitrise d'eau partielle ou totale, les semences améliorées ou à cycle court ou celui des semences traditionnelles résilientes constituent aujourd'hui un challenge pour la réduction de la vulnérabilité liée à la production agricole. Quant aux ressources financières des ménages, l'accès à l'information utile de prévention contre les risques climatiques tels que les inondations, le démarrage précoce des pluies et de sècheresse avec pour corollaire l'apparition des épisodes d'incendie capable d'engendrer les dégâts sur la production des cultures vivrières et du noix d'acajou sont perceptibles par endroit. L'accès aux crédits reste un poids majeur de vulnérabilité au niveau de la production des exploitants agricoles familiaux. La figure 2 ci-contre présente le lien de siilarité entre les différents facteurs de vulnérabilité dans les différentes communes du secteur.

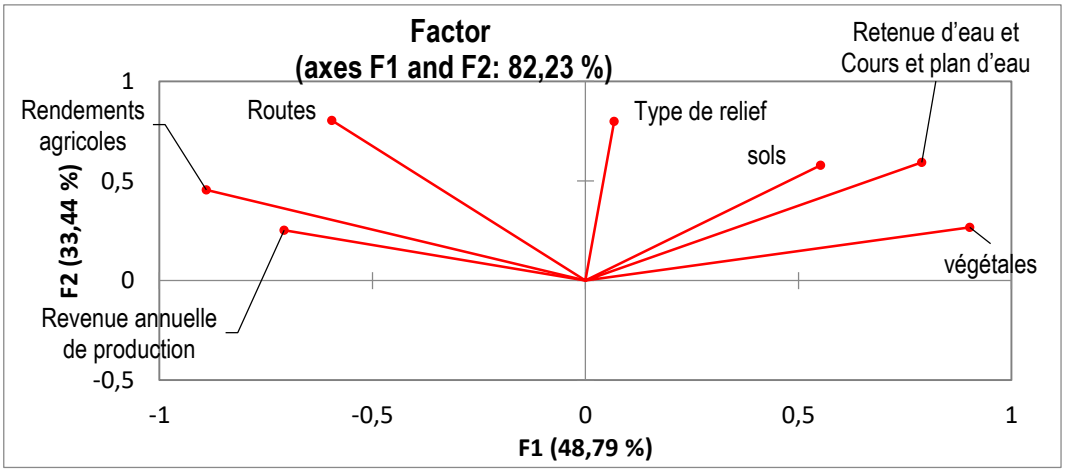


Figure 1. Facteurs de vulnérabilité à la production agricole des exploitants familiaux jeunes du département du Plateau

Source : Résultats travaux de terrain, 2021

L'examen de la figure 1 révèle que l'analyse Factoriel des composantes de la vulnérabilité de la production agricole des exploitants familiaux et en particulier les jeunes convertis dans l'agriculture peut être perçue en deux volets de sensibilités aux risques climatiques à savoir le volet des résultats liés à la production, constitué du rendement agricole, des infrastructures d'acheminement de la production (routes) et le revenu annuel de la production. Le second volet couvre les composantes du milieu physique notamment le type de relief, le sol, les retenues et cours d'eau, la végétation sont autant de facteurs qui rendent vulnérable l'exploitation familiale. Les populations et particulièrement des foyers de jeunes sans emploi du secteur d'étude constituent une production vulnérable aux risques climatiques puisque les rendements obtenus restent largement faibles (1,3 tonne/ha contre 2,5 t/ha).

2.3. Piliers de résiliences des jeunes sans emploi

La résilience des jeunes sans emploi et convertis dans les activités agricoles est basée sur plusieurs piliers. Ces piliers couvrent l'accès aux services de base, les filets de sécurités sociales, les actifs, la capacité d'adaptation au changement climatique et la substitution des activités agricoles en cas perte et dommages importants, la sécurité alimentaire pour ne citer que ceux-là. Ces différents piliers entretienne des relations d'interdépendance qui favorise le bien être ou pas du jeune sans emploi convertis dans les activités agricoles. L'illustration d'un chef de ménage jeune sans emploi converti dans un contexte de perte et dommage sur la production agricole et qui doit scolariser ses enfants, payer le loyer, l'électricité, se soigner en cas de maladies ou dans le cas des enfants est sans doute vulnérable et serait prêt à toute proposition sans l'existence des facteurs de résiliences. La présente étude mentionne cinq piliers sur lesquels repose la résilience des jeunes convertis dans le secteur de l'agriculture familial dans le département du Plateau comme l'indique la figure 3.

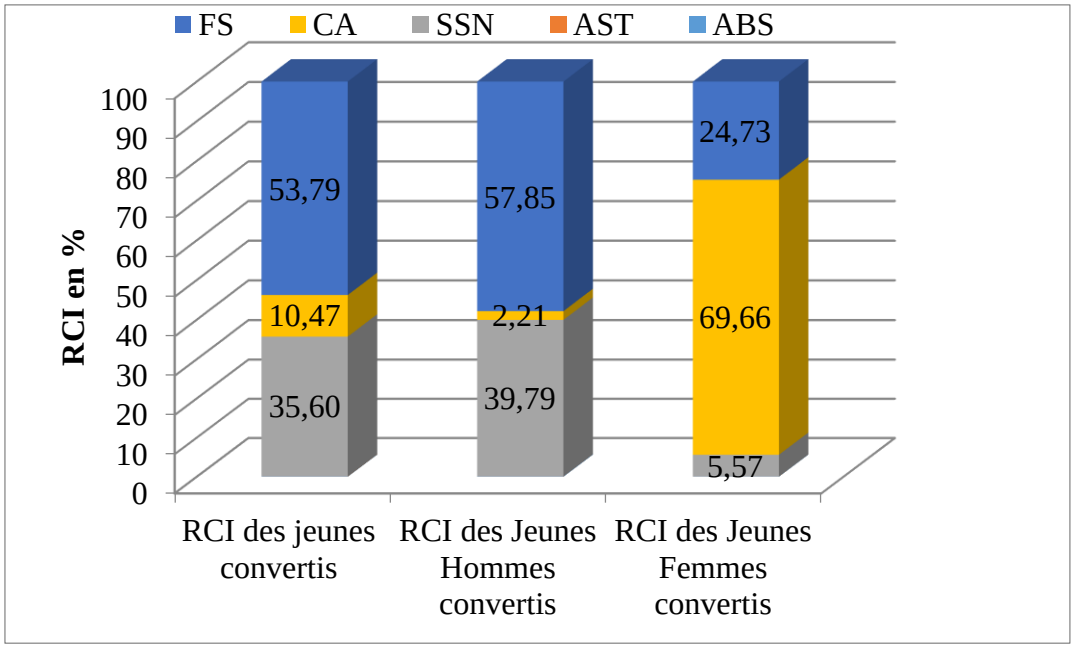


Figure 2. Piliers de résilience des Jeunes sans-emplois convertis dans l'agriculture familiale dans le département du Plateau

Source : Résultats de terrain, 2021

L'examen de cette figure 2 révèle que deux piliers contribuent le plus à la résilience des foyers des jeunes convertis en agriculture familiale. Il s'agit des piliers de la sécurité alimentaire avec 53, 79 % et des filets de sécurité sociale avec 35, 6 %. Du point de vue de l'approche genre, la résilience des jeunes hommes s'effectue à partir de la sécurité alimentaire avec 57, 85% et les filets de sécurité sociale avec 39,79%. En ce qui concerne, les foyers dirigés par les femmes, la capacité d'Adaptation constitue le pilier qui contribue largement à la résilience de ces ménages soit 70 % du poids du score final de l'indice de résilience et suivi de la sécurité alimentaire avec 25 % du poids du score final de l'indice de résilience. L'importance du poids du pilier de la sécurité alimentaire pourrait s'expliquer par la disponibilité des produits agricoles en dépit des problèmes de production comme les pertes et dommages agricoles, baisse du rendement dus aux effets de la variabilité climatique et les changements climatiques. Il en résulte donc que les piliers comme l'accès aux services de base (ABS), les actifs (AST) méritent d'être renforcés dans le département du Plateau pour une meilleure résilience des jeunes convertis dans le secteur de l'agriculture familiale.

3- Discussion

La résilience des jeunes sans emploi converti dans l'agriculture familiale constitue aujourd'hui une nouvelle approche de défense des jeunes contre la précarité ambiante et des difficultés des gouvernants à résoudre l'équation emploi et formation académique. La nuance entre la densité routière entre le milieu rural et urbain d'une part et l'accès aux institutions de recherche d'emploi d'autre part peut avoir des effets plus ou important sur la résilience des jeunes sans emploi (N. Adger, 2000, M. Mondal, A. Biswas, S.Mondal et *al*, 2023 p. 11). Ainsi, il existe une disparité entre la résilience des jeunes hommes et dans le rang des femmes. Les résultats montrent que les femmes ont une forte capacité d'adaptation à travers une combinaison d'activité commerciale et aux activités champêtres. Cependant, elles restent les plus vulnérables du point de l'accès à la terre. Bien que les actifs (AST) comme l'acquisition des terres hérités de la famille participent à la résilience des jeunes convertis à l'agriculture familiale, son influence n'est perceptible que lors de bons rendements agricoles ou de son renforcement dans les agrégats de soutiens aux jeunes. Ce constat a été aussi relevé lors des travaux des auteurs

comme M. Mondal, A. Biswas, S.Mondal et *al*, 2023 p.13 dans leur étude relative à la résilience d'un niveau microéconomique pour les Sundarbans indiens. Aussi, pour la résilience aux différents chocs qui peuvent subvenir dans l'exercice des activités agricoles, un renforcement des services et institutions de crédits et de formations s'avère nécessaires pour les jeunes hommes comme les femmes. Cette considération est également soutenue par Y.H. Hung et *al.* ,2016. Les résultats issus de cette étude dans le département du Plateau constituent l'un des premiers en matière de la résilience des ménages agricoles familiaux et spécifiques aux jeunes sans emploi dans un contexte de changement climatique et de fluctuation économique du secteur.

Bibliographie

Adger, W.N., 2000, Résilience écologique et sociale : Etat des relations, Prog. Hum. Geogr. 24 (3), 347–364 doi:10.1191/030913200701540465

Banque Mondiale, 2022, Rapport synthèse sur les femmes, l'entreprise et le droit, 8 p. https://openknowledge.worldbank.org/server/api/core/bitstreams/5a535935-3bf8-5a5e-9b11-4db1b1cecdbc/content, consulté le 28/08/2023

FAO, 2016, Resilience Index Measurement and Analysis – II, FAO, Rome. Retrieved from https://www.fao.org/ 3/a- i5665e.pdf 80p. consulté le 12 juillet 2023

GIZ et EURAC 2017, Guide complémentaire sur la vulnérabilité : le concept de risque. Lignes directrices sur l'utilisation de l'approche du Guide de référence sur la vulnérabilité en intégrant le nouveau concept de risque climatique de l'AR5 du GIEC, 68p. http://www.adaptationcommunity.net/vulnerability-assessment/vulnerability-sourcebook/

Hung, H.C., Yang, C.Y., Chien, C.Y., Liu, Y.C., 2016, Renforcer la résilience : Intégrer la participation des communautés dans l'évaluation intégrée de la résilience aux aléas climatiques dans la gestion de l'utilisation des sols métropolitains. Politique d'utilisation des terres 50, 48– 58. doi:10.1016/j.landusepol.2015.08.029

INSAE*, 2016,* Principaux indicateurs sociodémographiques et économiques du département du plateau (RGPH-4, 2013), 30p.

MAEP, 2018, Plan de développement Agricole du pôle 6. Pobè, le 06 septembre 2018 p.162 consultable sur le site WWW.agriculture.gouv.bj

MAEP, 2020, Rapport de performance du secteur agricole, Gestion 2019 125 p. le site WWW.agriculture.gouv.bj

MAEP, 2018, PLAN DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE DU POLE 6 , 162 p.

Mondal M., Biswas A., Mondal S., Bhattacharya S.,. Paul S, 2023, Développement d'un indice de résilience au niveau microéconomique pour les Sundarban indiens en adoptant la méthodologie des indicateurs de résilience pour la mesure et l'analyse (RIMA), Géosysteme et Géoenvironement, ELSERVIER, version originale en anglais, 14p.

OIT, 2023, Rapport phare de OIT : Emploi et questions sociales dans le monde : Tendance 2023, 184 p.

Schwartz D., 1995, Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 4è édition, Edition médicinale, Flammarion, Paris, 314

IMPACTS DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA PRODUCTIVITE MARAICHERE EN MILIEU URBAIN AU BENIN : CAS LA COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI AU BENIN

Angelo Evariste AHOUANDJINOU

Département de sociologie anthropologie, Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS); Université d'Abomey-Calavi ; E-mail : ahouangelus@yahoo.fr

Résumé : *Cet article analyse l'effet des variations pluviométriques sur la production maraîchère dans la commune d'Abomey-Calavi, au sud du Bénin. À partir de données climatiques et agricoles collectées entre 2019 et 2023, la recherche met en évidence la corrélation entre baisse de la pluviométrie, fréquence des jours de pluie et rendement des principales cultures maraîchères (tomate, carotte, gboma, laitue, vernonia). Les résultats montrent que certaines cultures, comme le gboma et la vernonia, bénéficient d'une meilleure résilience, souvent liée à l'irrigation, tandis que la tomate, très sensible aux attaques phytosanitaires et à la qualité du sol, accuse un net déclin. L'étude propose des leviers d'adaptation fondés sur la sélection variétale, la maîtrise de l'eau et le renforcement des capacités techniques des maraîchers.*

Mots-clés : *maraîchage, changement climatique, pluviométrie, résilience, Bénin*

Abstract : *This article analyzes the effect of rainfall variations on market gardening production in the municipality of Abomey-Calavi, southern Benin. Using climate and agricultural data collected between 2019 and 2023, the research highlights the correlation between declining rainfall, the frequency of rainy days, and the yield of the main market garden crops (tomatoes, carrots, gboma, lettuce, vernonia). The results show that certain crops, such as gboma and vernonia, benefit from greater resilience, often linked to irrigation, while tomatoes, highly sensitive to phytosanitary attacks and soil quality, are showing a significant decline. The study proposes adaptation levers based on varietal selection, water management, and strengthening the technical capacities of market gardeners.*

Key words : *market gardening, climate change, rainfall, resilience, Benin*

Introduction

Dans un contexte d'instabilité climatique mondiale, les systèmes agricoles urbains, notamment le maraîchage, se révèlent vulnérables (GIEC, 2021). À Abomey-Calavi, cette activité essentielle est confrontée à des précipitations irrégulières et à une urbanisation rapide. Les changements climatiques entraînent des inondations et des sécheresses, provoquant l'érosion des sols, la baisse de fertilité et des rendements agricoles réduits (Ouédraogo, 2006 ; CTA, 2008). Entre 2019 et 2023, ces aléas ont limité la production maraîchère. Face à ces défis, des stratégies d'adaptation telles que l'agriculture de contre-saison, l'irrigation, l'utilisation de semences à cycle court et la diversification des cultures sont mises en œuvre pour atténuer les pertes et renforcer la résilience des exploitations agricoles.

La commune d'Abomey est située est située au sud du Bénin (Figure 1) et du Département de l'Atlantique. Elle est comprise entre 6°19'20" et 6°42'51" de latitude Nord et entre 2°11'45" et 2°25'15" de longitude Est (Fig 1). Elle est limitée au Nord par la commune de Zè, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Est par les communes de Sô-Ava et de Cotonou et à l'Ouest par les communes de Tori-Bossito et de Ouidah (MISD, 2005). Elle s'étend sur une superficie de 539 Km² représentant 0,48 % de la superficie nationale du Bénin (INSAE, 2004). Elle,jouit d'un climat de type subéquatorial a deux saisons sèches et deux saisons humides.

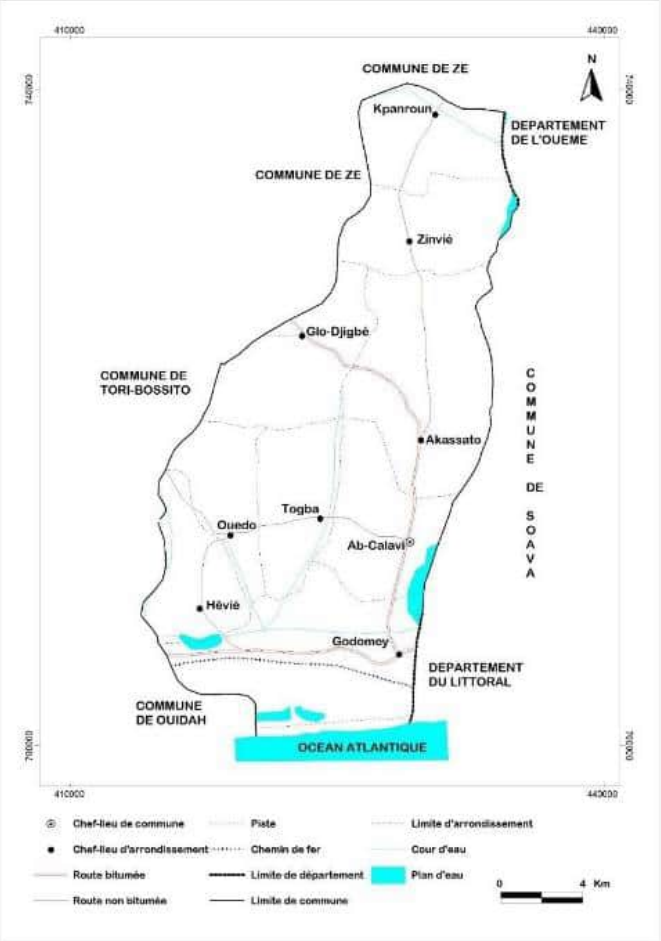


Figure 1. Situation de la Commune d'Abomey Calavi

2. Matériel et méthodes

L'étude évalue l'impact de la variabilité pluviométrique sur les rendements maraîchers dans la commune d'Abomey-Calavi. Les données climatiques, couvrant la période de 2019 et 2023, ont été obtenues auprès de Météo Bénin et concerne la hauteur des précipitations ainsi que la la température. Les données agricoles, relatives aux cultures de tomate, carotte, gboma, laitue et vernonia, ont été collectées auprès de l'Agence Territoriale de Développement Agricole (ATDA).

Une analyse corrélationnelle a été menée pour examiner la relation entre les paramètres climatiques et les rendements agricoles. Le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour déterminer la force et la direction de la relation entre la hauteur annuelle des pluies, et les rendements des cultures maraîchères. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R, version 3.3.1, permettant une modélisation précise des relations entre les variables climatiques et agricoles.

Cette méthodologie permet d'identifier les impacts de la variabilité pluviométrique sur les performances maraîchères et de proposer des stratégies d'adaptation appropriées pour les producteurs de la commune d'Abomey-Calavi.

3. Résultats

3.1. Évolution de la production maraîchère

La figure 2 présente l'évolution de la production maraichère dans la commune de 2020 à 2023.

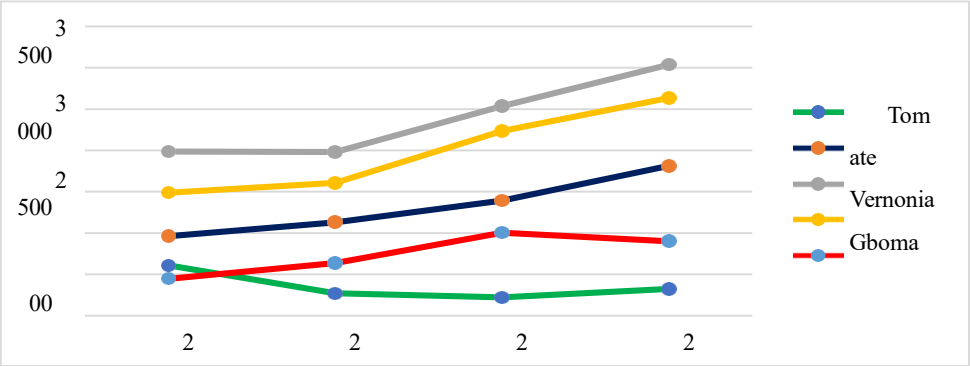


Figure 2. Evolution de la production maraîchère

De l'analyse de la production maraîchère au cours, des quatre (04) dernières années dans la commune d'Abomey-Calavi. Globalement, on constate que, seul le niveau de production de la culture de tomate connait une décrue, par rapport au niveau de production des autres cultures (Gboma, Laitue, Vernonia et Carotte).

3.2. Variabilité climatique

La figure 3 présente l'évolution de la précipitation annuelle dans la commune d'Abomey-Calavi

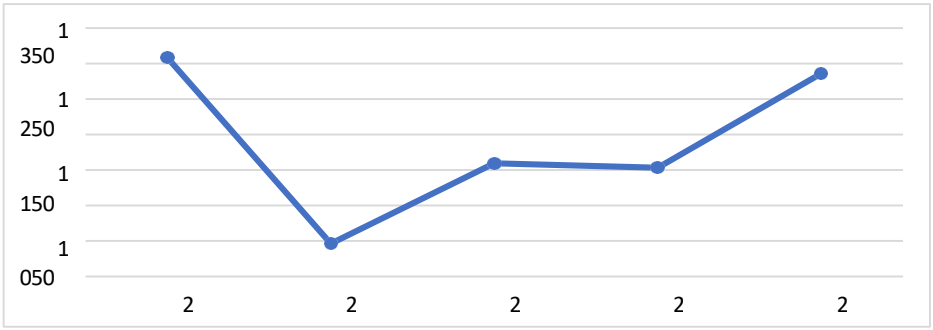


Figure 3. Evolution de la précipitation annuelle dans la commune d'Abomey-Calavi

Les précipitations montrent une tendance descendante de 2019 à 2020, puis une légère augmentation de 2020 à 2023. La pluviométrie la plus élevée a été enregistrée en 2019 (1223 mm), tandis que la plus basse a été en 2020 (742,5mm)

3.3. Corrélation entre la pluviométrie et les cultures maraîchères à Abomey-Calavi

Les figures 4, 5 et 6 présentent respectivement la corrélation entre l'évolution de la production Tomate en fonction de la pluviométrie, l'évolution de la production de Carotte en fonction de la pluviométrie et l'évolution de la production de Vernonia et de la Laitue en fonction de la pluviométrie dans la commune d'Abomey-Calavi

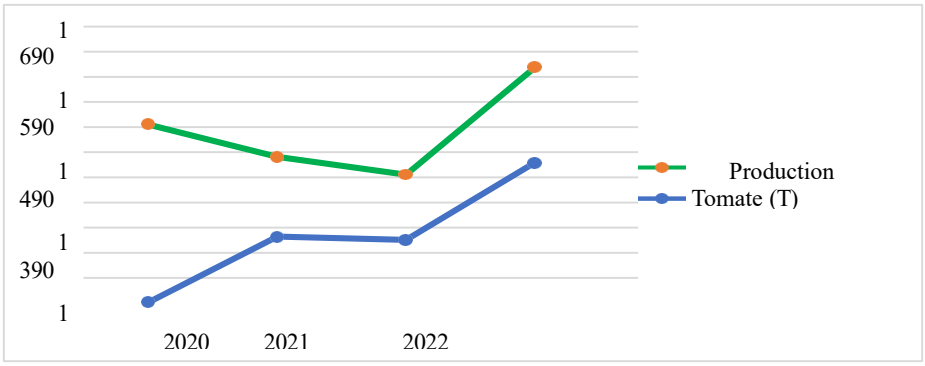


Figure 4 : Evolution de la production Tomate en fonction de la pluviométrie dans la commune d'Abomey-Calavi

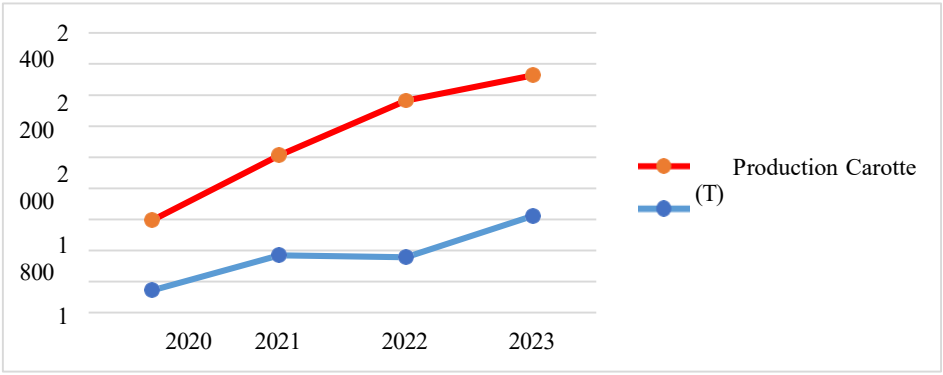


Figure 5 : Evolution de la production de Carotte en fonction de la pluviométrie

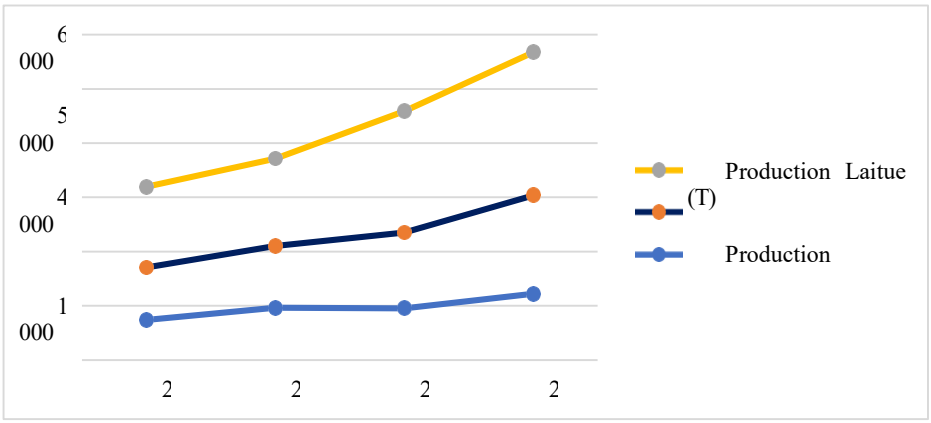


Figure 6: Evolution de la production de Vernonia et de la Laitue en fonction de la pluviométrie dans la commune d'Abomey-Calavi

De l'analyse des figures, il ressort que La production maraîchère dans la commune d'Abomey-Calavi est fortement tributaire des conditions climatiques, notamment de la pluviométrie. Les données analysées sur la période 2019–2023 révèlent une variabilité interannuelle significative des précipitations, avec un impact différencié sur les rendements des principales cultures maraîchères. Par exemple, la tomate, particulièrement sensible aux excès d'eau et aux attaques pathogènes, a connu une baisse de production malgré une légère reprise de la pluviométrie après 2020. À l'inverse, des cultures comme la carotte, le gboma, la laitue ou la vernonia ont présenté une tendance haussière de leur rendement, en partie grâce à l'amélioration des systèmes d'irrigation et aux appuis techniques fournis par des structures telles que l'ATDA et les projets de développement agricole. Les analyses montrent une **corrélation positive modérée** entre la hauteur des pluies et les cultures comme le gboma ou la laitue, ce qui s'explique par leur besoin en humidité régulière. Toutefois, une pluviométrie

excessive ou mal répartie dans le temps peut provoquer des pertes importantes, soit par inondation des parcelles, soit par prolifération des maladies. La fréquence des jours de pluie, plus que la seule quantité annuelle, s'avère ainsi déterminante pour la réussite des cultures.

Les résultats indiquent qu'une gestion fine de l'eau, via la maîtrise de l'irrigation et le choix de variétés adaptées, est cruciale pour atténuer les effets de la variabilité pluviométrique. Une planification climatique tenant compte des scénarios pluviométriques pourrait renforcer la résilience des maraîchers face au changement climatique.

Discussion

La résilience différenciée observée entre cultures maraîchères appelle plusieurs commentaires. D'abord, comme l'indiquent Diatta (2023) et Kitabla et al. (2023), les cultures de tomate présentent une forte sensibilité aux variations de l'humidité du sol et aux stress thermiques, justifiant ainsi leur baisse de rendement. Ensuite, la stabilité de la production de laitue et de vernonia semble liée, selon Diomandé (2023), à une capacité d'adaptation plus rapide face aux chocs hydriques modérés.

Par ailleurs, les travaux de Mawois et al. (2011) et de Crush et al. (2011) ont montré que l'organisation des producteurs autour de pratiques collectives d'irrigation favorise une meilleure résilience des cultures en zone urbaine. Cela corrobore les résultats obtenus sur le gboma, dont la croissance est soutenue grâce à des aménagements hydrauliques initiés par des projets agricoles locaux.

En outre, l'étude d'Aubry et al. (2012) souligne l'importance de la planification urbaine inclusive pour garantir un accès sécurisé aux espaces agricoles. Dans le cas d'Abomey-Calavi, cette condition semble encore fragile, comme le suggèrent les témoignages sur l'insécurité foncière. Enfin, Robineau (2013) rappelle que sans politiques publiques adaptées, les pratiques d'agriculture urbaine risquent d'être marginalisées, ce qui accentuerait la vulnérabilité des ménages maraîchers.

Ainsi, pour renforcer la durabilité du système, il est nécessaire de combiner amélioration des pratiques culturales, accès sécurisé à l'eau et reconnaissance institutionnelle du maraîchage urbain comme levier de développement.

Conclusion

La variabilité climatique influence significativement la productivité maraîchère à Abomey-Calavi. Si certaines cultures montrent des signes d'adaptation, d'autres comme la tomate reste très vulnérable. La mise en place de stratégies d'adaptation ciblées, incluant l'irrigation, la sélection variétale et la formation des producteurs, est indispensable pour accroître la résilience du secteur.

Bibliographie

Assogba, P. (1999). *L'agriculture urbaine et la sécurité alimentaire au Bénin*. Rapport de recherche, Cotonou.

Aubry, C., Ramamonjisoa, J., Dabat, M.-H., Rakotoarisoa, J., Rakotondraibe, J., & Rabeharisoa, L. (2012). Urban agriculture and land use in cities: An approach with the multi-functionality and sustainability concepts in the case of Antananarivo (Madagascar). *Land Use Policy*, *29*(2), 429–439.

Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA). (2008). *L'agriculture face aux changements climatiques en Afrique*. Wageningen, Pays-Bas.

Crush, J., Hovorka, A., & Tevera, D. (2011). Food security in Southern African cities: The place of urban agriculture. *Progress in Development Studies, 11*(4), 285–305.

Diatta, I. (2023). *Impact des précipitations sur la culture de la tomate en zone sahélienne*. Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Diomandé, K. (2023). Impact de la variabilité climatique sur les calendriers agricoles dans la sous-préfecture de Vavoua. *Revue Africaine d'Agronomie et d'Environnement, 15*(1), 22–35.

Kitabla, A., Nduwimana, B., & Luboya, C. (2023). Effet de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate. *Journal Congolais d'Agriculture Durable*, 8(2), 44–55.

Mawois, M., Aubry, C., & Chiffoleau, Y. (2011). Approvisionnement alimentaire des villes et circuits courts. *Économie rurale, 321*, 33–46.

Moustier, P., & Mbaye, A. (1999). L'agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest : éléments de définition et de typologie. In *Colloque URBAMA*, Tours.

Ogouwalé, E. (2007). Urbanisation et agriculture périurbaine à Cotonou : enjeux fonciers et pratiques d'adaptation. *Cahiers d'Outre-Mer, 60*(239), 279–298.

Ouédraogo, M. (2006). Changements climatiques et production agricole au Sahel. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement, 7*(1).

Robineau, O. (2013). Dynamiques de l'agriculture urbaine dans les métropoles africaines. *Revue Tiers Monde, 213*(1), 123–139.

PERCEPTIONS ET STRATEGIES D'ADAPTATION DES COMMUNAUTES WXLA DE LA COMMUNE DE SEME-PODJI AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES (AU SUD-BENIN)

Akibou AKINDELE [1] Waïdi SEYDOU [2], Jésulola Candas HOUNWANOU [3], Brice Sèvègni TCHAOU [3]

[1]Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université d'Abomey-Clavi 01 BP 526, Cotonou 01 ; akybson@yahoo.fr

[2]Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou 01 ; waidosy1@yahoo.fr

[3]Département de Géographie et Aménagement du Territoire du Centre Universitaire d'Adjarra, BP 178 Adjarra, campusadjarra19@gmail.com

Résumé : *La présente recherche porte sur les perceptions et stratégies d'adaptations des communautés Wxla de la Commune de Sèmè-Podji aux changements climatiques. L'approche méthodologique adoptée repose sur la recherche documentaire, les travaux de terrain réalisés suivant un échantillon de 163 ménages et le traitement des données. Selon les réponses des personnes enquêtées, la persistance de la sècheresse (96 %), les bouleversements des saisons de pluie (87 %), la température (8 %) et les vents violents (5 %) sont les manifestations climatiques majeures. Face aux conséquences des changements climatiques sur les moyens et modes d'existence des producteurs agricoles. Les populations locales ont en effet développé diverses stratégies, 88 % des producteurs ont opté pour l'adoption de nouvelle culture, 8 % pour l'abandon de cultures et 1 % pour modification de la pratique de labour.*

Mots clés : *Commune de Sèmè-Podji ; perception ; stratégies d'adaptations, changement climatique.*

Abstract: ***Perception and adaptation strategies of the Wxla Communities of the commune of Sèmè-Podji to climate change (in Southern Benin)****. This research focuses on the perceptions and adaptation strategies of the Wxla communities of the Commune of Sèmè-Podji to climate change. The methodological approach adopted is based on documentary research, fieldwork carried out on a sample of 163 households and data processing. According to the responses of the people surveyed, the persistence of drought (96%), disruptions in the rainy seasons (87%), temperature (8%) and strong winds (5%) are the major climatic manifestations. Faced with the consequences of climate change on the means and ways of life of agricultural producers. Local populations have indeed developed various strategies, 88% of producers have opted for the adoption of new crops, 8% for the abandonment of crops and 1% for modification of the ploughing practice.*

Keywords*: Sèmè-Podji Commune; perception; adaptation strategies; climate change.*

Introduction

A l'échelle planétaire, comme effets directs, les changements climatiques sont en train d'induire une élévation de la température et une nouvelle répartition des précipitations (Bergonzini, 2004). Le changement climatique entraînera également une perte de biodiversité : de 15 à 37 % des plantes et espèces animales terrestres pourraient disparaître d'ici à 2050 (FIDA, 2008).

Au Bénin, un stress thermique supplémentaire et des sols plus secs risquent de réduire les rendements dans les différentes régions agro-écologiques (Ogouwalé, 2006). En outre, la multiplication et l'expansion des nuisibles des cultures en raison des changements climatiques viendront aggraver le risque de pertes post récolte. Les risques alimentaires seraient alors énormes et les populations les plus vulnérables seraient les paysans, les démunis ruraux et urbains, etc. (Ogouwalé, 2004).

Les hommes ne peuvent vivre sans la perception des « marqueurs du temps », sans les saisons, à la fois physiquement et psychiquement ressenties, idéalisées, subies et espérées. Le temps qu'il fasse impose le choix des vêtements comme l'indiquent nos habitudes quotidiennes, relatives au style vestimentaire (Akindélé, 2014). De nos jours, les besoins d'adaptation des populations aux changements climatiques et leurs impacts socio-environnementaux sont

indispensables, car la suivie des populations en dépend (GIEC, 2007). Dans ce contexte, l'agriculture est exposée aux effets néfastes des changements climatiques au Bénin, en général et en particulier, dans la Commune de Sèmè-Podji où les populations Wxla ont développé eux-mêmes, des stratégies endogènes pour limiter les dégâts occasionnés par ces phénomènes. Située entre les parallèles 6°19'41" et 6°27'18" de latitude nord et les méridiens 2°28'11" et 2°41'25" de longitude est, la Commune de Sèmè-Podji est située dans le Département de l'Ouémé, au Sud-est de la République du Bénin sur la côte Atlantique (Figure 1).

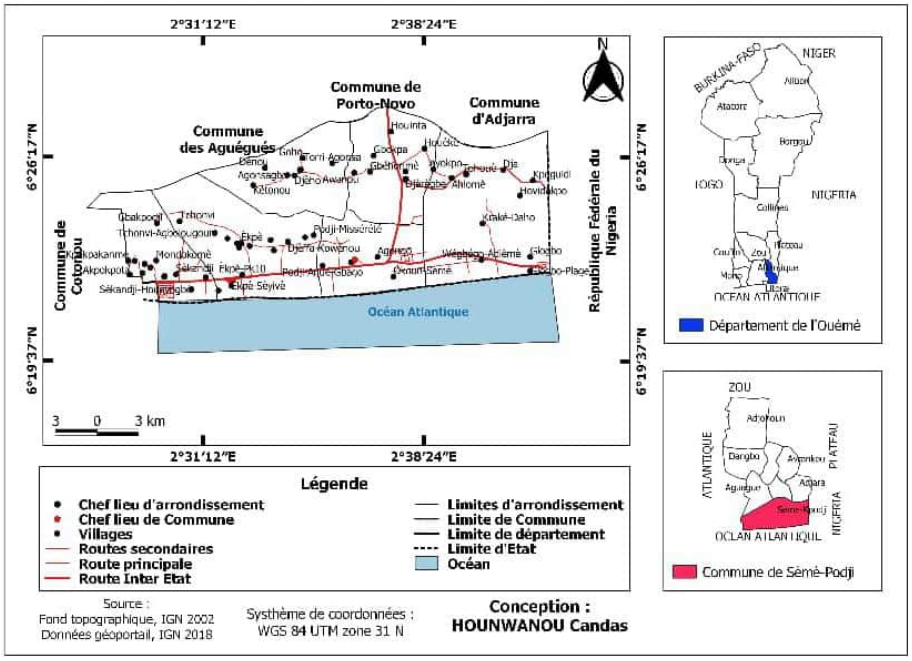


Figure 1. Situations géographique et administrative de la Commune de Sèmè-Podji

L'objectif de cette recherche est d'étudier les perceptions et stratégies d'adaptations des communautés Wxla de la Commune de Sèmè-Podji aux changements climatiques. Ce sujet permet de comprendre les perceptions des communautés Wxla face aux changements climatiques, d'analyser leurs stratégies d'adaptation et de valoriser leurs savoirs traditionnels.

1. Données et méthodes

Un questionnaire portant des questions sur la perception des changements climatiques a été utilisé. La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de Schwartz (1995) :

$N' = z\alpha^2 \times p\,q\,/i^2$,

avec N' = taille de l'échantillon ; zα=1,96; p=n/N, représentant la proportion des ménages des villages ciblés (n) par rapport au nombre de ménages de la Commune (N) – dans notre cas, $p = \frac{n}{N} = \frac{180}{1398} = 0,1$ soit 10 % ; i = précision désirée égale à 5 % ; q = 1-p =1-0,1= 0,9 %. $N' = \frac{(1,96)^2 \times 0,1 \times 0,9}{(0,05)^2} = 163$ sur 1398 ménages. Au total, 163 personnes ont été enquêtées. Il faut noter que les chefs de ménage ont été considérés, d'où un ménage est égal à une personne.

Les questionnaires, les guides d'entretien et les grilles d'observation ont fait l'objet d'un dépouillement. Le traitement et l'analyse des résultats ont été faits par le logiciel IBM SPSS Statistics 21 et les figures et tableaux par le tableur Excel.

2. Résultats et discussion

2.1 Perceptions des populations Wxla sur les changements climatiques

Plusieurs perceptions sont menées par les populations de la Commune.

2.1.1. Perceptions paysannes des changements pluviométriques

La pluie est le premier facteur du climat qui conditionne l'exercice de la profession agricole des producteurs de la Commune de Sèmè-Podji. Il existe de nombreux concepts relatifs au climat en général et à la pluie en particulier pour désigner les différentes manifestations pluvieuses clés dont les survenances déterminent des périodes spécifiques dans l'année. Plusieurs signes indiquent les saisons chez les Wxla. Il s'agit des indicateurs Zoo-météorologiques de la saison des pluvieuse et la saison sèche.

Il faut souligner que la perception se traduit par des péjorations pluviométriques telles que résumées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Synthèse sur les perceptions paysannes des changements pluviométriques

Changements pluviométriques enregistrés	**Manifestation / Conséquences**
Démarrage tardif et /ou mauvaise répartition des grandes pluies	Les pluies s'installent actuellement en mai au lieu de mars. Ce qui induit le non opérationnel du calendrier agricole empirique (selon 87 % des enquêtés).
Raccourcissement de durée de la grande saison pluvieuse	La grande saison pluvieuse est devenue plus courte (3 mois de pluies au lieu de 4 ou 5 mois comme auparavant). Selon 87 % des enquêtés.
Diminution des hauteurs pluviométriques	Ces quinze dernières années, les hauteurs pluviométriques sont en baisse comparativement aux quinze années précédentes (selon 87 % des enquêtés).
Occurrence très forte des vents violents	Les pluies des quinze dernières années sont très violentes et accompagnées de grand vent qui ont pour conséquence le démolissage des maisons et la verse des plantes de maïs (selon plus de 5 % des enquêtés).
Persistance de la sècheresse pendant la période de la grande saison pluvieuse	La sècheresse s'étend sur une période plus longue allant mi-novembre à avril au lieu de janvier à mars (pour 96% des enquêtés).

Source *:* Enquêtes du terrain, novembre- décembre 2024

Des informations contenues dans ce tableau, il ressort que les populations ont remarqué un certain « déréglage » quant au déroulement normal, tel que connu autrefois, des manifestations pluvieuses.

La figure 2 montre comment les producteurs Wxla de la Commune perçoivent les facteurs climatiques. Il en ressort que la grande majorité (87 %) des enquêtées perçoivent les changements climatiques par la pluviométrie (haute des pluies).

2.1.2 Perceptions paysannes des changements thermiques et solaires

Les communautés rurales perçoivent d'une manière similaire avec les précipitations les effets des bouleversements thermiques. En effet, elles remarquent une augmentation de la chaleur en intensité et en durée (la grande saison sèche se prolongeant). Cette chaleur intense s'accompagne de soleil ardent avec une augmentation du nombre de jours ensoleillé par rapport

à ceux nuageux qui est en diminution. Il faut noter que 8 % des personnes enquêtées perçoivent les changements climatiques par la température (Figure 2).

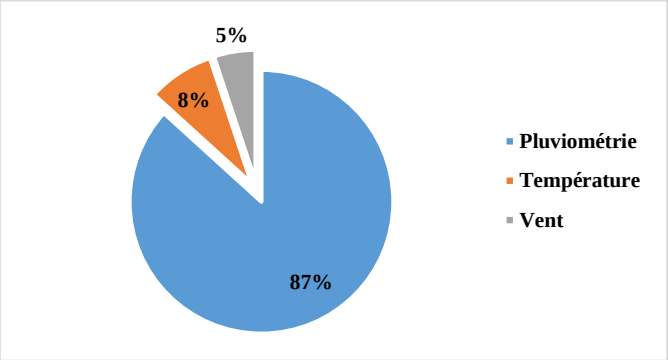


Figure 2. Perception des facteurs climatiques dans la Commune de Sèmè-Podji

Source : *Enquêtes de terrain, décembre 2024*

2.1.3 Perceptions paysannes des changements du vent

Le vent, après la pluie est l'un des facteurs climatiques dont les manifestations retiennent la mémoire collective des populations à cause de ces nombreux dégâts sur les cultures et le cadre de vie des producteurs notamment leurs habitations. Les populations ont en effet remarqué une manifestation plus accrue de ce facteur (5 % des enquêtés) affirmant qu'il y a plus de vents violents, de vents destructeurs (Figure 2).

2.1.4 Perceptions paysannes sur la persistance de la sècheresse

Les paysans du secteur de recherche perçoivent la persistance de la sécheresse comme un phénomène anormal lié aux changements climatiques selon 96 % des enquêtés. Ils associent cette situation à la déforestation, à la colère des divinités ou à des pratiques agricoles inappropriées. La diminution des pluies affecte gravement leurs rendements agricoles et l'accès à l'eau. Ainsi, les paysans notent un dérèglement des saisons autrefois prévisibles. Face à cela, ils adoptent des stratégies.

2.2. Stratégies d'adaptation développées par les Wxla face aux changements climatiques

Face aux conséquences des changements climatiques sur les moyens et modes d'existence des producteurs agricoles, ces derniers ne sont pas restés muets. Les populations locales ont en effet développé diverses stratégies inspirées des nouvelles perceptions du climat : adoption de nouvelles cultures et variétés de cultures ; augmentation des emblavures ; diversification des activités génératrices de revenus ; association des cultures ; cérémonie religieuse d'appel de la pluie et qui concernent aussi bien la conduite des cultures et des animaux d'élevage que la gestion des sols du terroir. La figure 3 présente les stratégies d'accroissement des rendements. De son analyse il est à remarquer que ces producteurs de la Commune préfèrent adoptés plusieurs types de stratégies comme : adoption de nouvelle cultures (88%), abandon de culture (8%), modification de pratique de labour (1%), déplacement de culture (1%), modification de la date de semis (1%), modification dans les pratiques de désherbage (1%), changement de parcelle, pour obtenir un bon rendement.

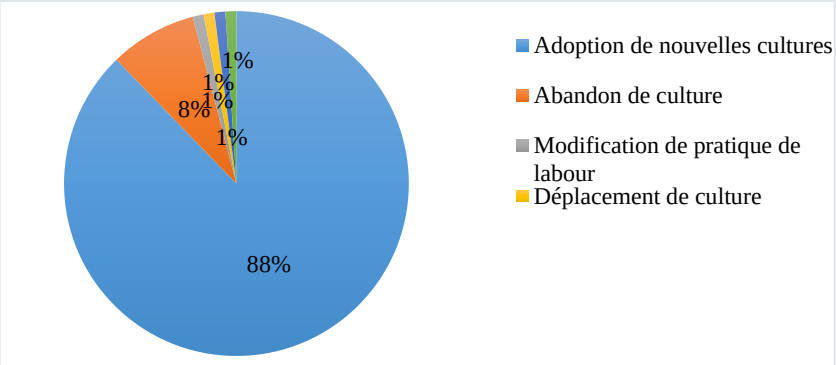


Figure 3. Stratégies d'accroissement des rendements

Source : Enquêtes de terrain, décembre 2024

La Figure 4 présente le maïs de 75 jours dans le village Agongo et une association du maïs et du manioc. Cette variété de maïs est cultivée par la plupart des paysans dans le village d'Agongo. L'association des cultures du maïs et du manioc est pratiquée selon 96 % des enquêtés pour produire différentes cultures en une saison pluvieuse. Pour les paysans, l'association des cultures permet de minimiser la vulnérabilité des cultures et la prolifération des mauvaises herbes dans les champs.



Figure 4. Maïs de 75 jours (à gauche) et une association du maïs et du manioc (à droit) dans le village Agongo (cliché : Hounwanou, décembre 2024*)*

2.3. Discussion

La présente recherche a permis d'étudier les perceptions et stratégies d'adaptations des communautés Wxla de la Commune de Sèmè-Podji aux changements climatiques. En effet, la persistance de la sècheresse (96%), les bouleversements des saisons de pluie (87 %), la température (8 %) et les vents violents (5 %) sont les manifestations climatiques majeures perçues par les habitants de la Commune de Sèmè-Podji. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Seydou et *al.* (2018) et indiquent le fait que les perceptions du changement climatique dans le département de Gouré mettent en évidence des modifications du cumul pluviométrique, des dates de début et de fin de la saison des pluies, ainsi que des températures. Ces modifications se traduisent par un retard dans l'installation des pluies, un arrêt précoce et une augmentation de la fréquence des périodes de sécheresse. Cette situation touche principalement les activités dépendantes du climat comme l'agriculture et l'élevage.

Les résultats ont également montré que face aux conséquences des changements climatiques sur les moyens et modes d'existence des producteurs agricoles, ces derniers ne sont pas restés muets. Les populations locales ont en effet développé diverses stratégies inspirées des nouvelles perceptions du climat. Ces résultats confirment ceux de Dimon (2008) qui a montré que la pertinence d'une telle étude réside dans le fait que l'accompagnement des populations locales

dans la lutte contre les effets des changements climatiques nécessite une bonne compréhension des perceptions, des stratégies d'adaptation et leur prise en compte.

Conclusion

Au terme de cette recherche, il faut retenir que les personnes enquêtées perçoivent les changements climatiques par des modifications de la hauteur des pluies, des températures, des vents et de la persistance de la sècheresse. Face aux conséquences des changements climatiques sur les moyens et modes d'existence des producteurs agricoles, ces derniers ne sont pas restés muets. Les populations locales ont en effet développé diverses stratégies inspirées des nouvelles perceptions du climat, telles que : adoption de nouvelle cultures, abandon de culture, modification de pratique de labour, déplacement de culture, modification de la date de semis, cérémonie religieuse d'appel de la pluie et qui concernent aussi bien la conduite des cultures et des animaux d'élevage.

Bibliographie

Akindélé A. A., 2014 : Savoirs ethno climatologiques en pays wemɛ et hɔli : fondements et implications économiques et socio- culturelles. Thèse présentée pour l'obtention du Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 234 pages.

Bergonzini J-C., 2004 : Changements climatiques, désertification, diversité biologique et forêts. Climate changes, desertification, biologicaldiversity andforests. Nogent-sur-Marne : SILVA, 160 pages.

Ogouwalé E., 2004 : Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin méridional. Cotonou : Mémoire de DEA, Université d'Abomey-Calavi (UAC), École Doctorale Pluridisciplinaire (EDP) « Espace, Cultures et Développement », Faculté des Lettres Arts et Sciences Humaines (FLASH), 119 pages

Ogouwalé E., 2006 : Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Cotonou : Thèse de Doctorat, LECREDE/ FLASH/ EDP/ UAC, 302 pages.

Fonds International de Développement Agricole (FIDA), Rome, 2008 : Le FIDA et le changement climatique. Consultation sur la huitième reconstitution des ressources du FIDA. Rome : FIDA-IFAD, 27 pages.

GIEC, 2007: Climate Change 2007. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 996 pages.

Dimon R., 2008 : Adaptation aux changements climatiques : perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles des communes de Kandi et de Banikoara au Nord du Bénin. Thèse d'ingénieur agronome, FSA-UAC. 132 pages.

Schwartz D., 1995 : Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 4è édition. Editions médicales Flammarion, Paris, 314 pages.

Seydou W., Seidou M., Akindélé A., Ogouwalé E., 2018 : Types de temps et maladies caractéristiques chez les agriculteurs dans la commune de Pobè, 461 pages.

L'ÉVOLUTION DES PRATIQUES RIZICOLES DANS LA CUVETTE D'ANDAPA (NORD DE MADAGASCAR) FACE À LA BAISSE DES PRÉCIPITATIONS

Fenomanantsoa Rajotiana ANDRIANANTENAINA[1] [2], Dominique DUMAS [2], Sylvain BIGOT[3], Tolojanahary ANDRIAMITANTSOA[1]

[1] Université d'Antananarivo, EAD 06 : Espace et Société, BP 907 Ankatso-101 Antananarivo, Madagascar. rajoandriam@gmail.com, zinatolotra@gmail.com
[2] Université Lyon 3, UMR 5600 Environnement, Ville et Société (EVS), F-69362 Lyon, France. dominique.dumas@univ-lyon3.fr
[3] Université Grenoble Alpes, UMR 5001 Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE), F-38000 Grenoble, France. sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr

Résumé : *Cette étude s'intéresse au changement des pratiques rizicoles dans la cuvette d'Andapa (nord de Madagascar) face au déficit pluviométrique. Elle vise à déterminer comment la baisse des précipitations et la contraction de la saison des pluies influencent les pratiques rizicoles dans cette région. Les analyses s'appuient sur des séries pluviométriques, des données hydro-agricoles et des résultats d'enquêtes couvrant la période 2019-2024. Les résultats montrent comment la baisse significative des pluies oblige les riziculteurs à adapter leur calendrier cultural, compliquant la tenue d'une campagne de riz à deux saisons. Ces évolutions contraignent également les riziculteurs à affronter non seulement des problèmes sociaux liés à la gestion et à la distribution de l'eau d'irrigation, mais surtout de s'orienter vers la riziculture sur les versants pour combler le rendement dans les plaines.*

Mots-clés : *précipitations, calendrier et pratiques rizicoles, changement climatique, Andapa.*

Abstract: ***Evolution of rice cultivation practices in the Andapa Basin (Northen Madagascar) in response to decreasing rainfall.*** *This study examines the evolution of rice-growing practices in the Andapa Basin (Northern Madagascar) in response to declining rainfall. It aims to determine how reduced rainfall, and a shorter rainy season affects rice cultivation practices in this region. The analysis is based on rainfall data, hydro-agricultural records, and survey results covering the period from 2019 to 2024. Findings indicate that the significant decline in rainfall is compelling rice farmers to adjust their cropping calendar, making it increasingly challenging to sustain a two-season rice cycle. These shifts are not only exacerbating social issues related to irrigation, water management and distribution but are also driving farmers to cultivate rice on slopes to compensate for yield losses in the plains.*

Keywords: *rainfall, rice-growing calendar and practices, climate change, Andapa.*

Introduction

À Madagascar, la riziculture est plus sensible aux changements climatiques que d'autres cultures (Randriamarolaza *et al.,* 2023). En effet, la pratique rizicole est en étroite dépendance des conditions climatiques et de la disponibilité en eau que ce soit dans des cultures pluviales ou même dans des rizières irriguées. Actuellement, la baisse des précipitations oblige les agriculteurs à adapter leurs techniques pour faire face à la raréfaction des quantités d'eau agricole. Ces évolutions sont particulièrement bien observées dans la cuvette d'Andapa, une des plus importantes plaines hydroagricoles de Madagascar, situées dans le nord du pays, avec une récolte principale centrée sur la saison des pluies de novembre à mars (Neuvy, 1979).

La variabilité des précipitations, en plus d'être une contrainte forte pour les agriculteurs (Barrett *et al.,* 2025), modifie notablement le calendrier rizicole prévisionnel, qui devient plus incertain et par contrecoup met parfois en péril la campagne rizicole de contre-saison. Le manque d'eau provoque, par ailleurs, des tensions sociales sur la gestion et la distribution de l'eau dans les parcelles entre les usagers dans les périmètres irrigués.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les liens entre les évolutions des pratiques rizicoles et la diminution de la quantité des précipitations dans la cuvette d'Andapa. Mais comment se présente ce changement des pratiques agricoles généré par la baisse des précipitations à Andapa ? Les analyses fines du lien entre les pratiques agricoles et les modifications pluviométriques restent cruciales pour tenter d'augmenter la production rizicole régionale, mais aussi pour améliorer les techniques de culture du riz.

1. Données et méthodes

La zone d'Andapa se place en moyenne vers 14°40' Sud et 49°40' Est, dans le nord-est de Madagascar. Elle fait partie intégrante du district d'Andapa (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), dans la région SAVA. La cuvette d'Andapa bénéficie d'un climat tropical chaud et humide (classification Koppën-Geiger) avec une moyenne des précipitations annuelle supérieure à 2 000 mm, une spécificité climatique de la partie orientale du pays (Kotomangazafy *et al.,* 2023). Avec une superficie cultivable d'environ 12 000 hectares en 2021, l'ensemble des bassins versants d'Andapa est l'une des plus grandes zones de production du riz du pays (Neuvy, 1979 ; CIRAE, 2024).

Les analyses de cette étude se fondent sur des séries temporelles de précipitations sur des grilles de 0.0375° x 0.0375° de latitude/longitude (environ 4 km) fournie par la direction générale de la météorologie de Madagascar (station de Sambava et Antalaha) pour les données pluviométriques de 2019-2022 et obtenues sur le portail de l'USGS (CHIRPS, résolution de 0,05°) pour la période 2023-2024 ; sur des données hydro-agricoles et sur les 50 associations des usagers de l'eau, fournies par la circonscription de l'agriculture et de l'élevage d'Andapa (CIRAE) entre 2021-2024 ; sur les résultats des entretiens, focus group et des enquêtes au niveau des paysans riziculteurs en 2024.

Pour mieux cerner les pratiques agricoles et leurs modifications, associées par le changement climatique actuel, des enquêtes ont été effectuées auprès de 925 ménages répartis au sein des 10 chefs-lieux de communes de la plaine d'Andapa. Les membres de ces ménages font partie des paysans producteurs des 50 associations des usagers de l'eau, qui gèrent 19 périmètres irrigués d'Andapa. Ces ménages interrogés représentent environ 6 % des ménages qui cultivent du riz dans ces plaines rizicoles. La stratification et la typologie de ces ménages (lieu d'habitation, périmètre d'appartenance, localisation des parcelles, situation par rapport aux sources d'eau) ont été également calibrées afin d'obtenir toutes les informations agro-socio-économiques nécessaires pour l'analyse envisagée.

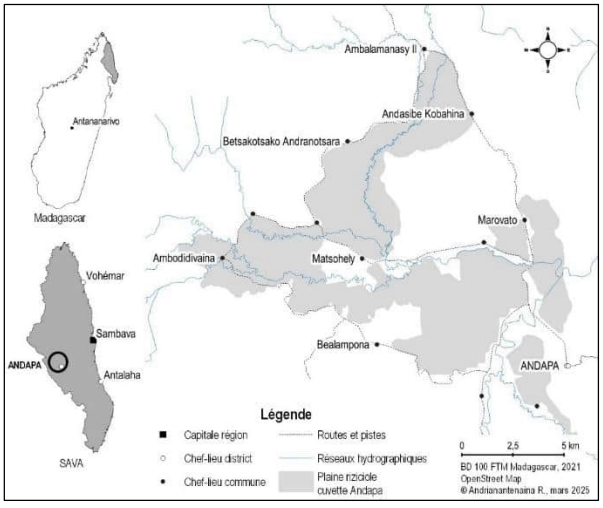


Figure 1. Localisation des périmètres rizicoles de la cuvette d'Andapa

1. Principaux résultats

2.1. Le décalage du calendrier rizicole

Selon le calendrier agricole établi, la préparation des rizières pour la campagne principale du riz *(vary taona)* à Andapa commence au plus tard en mi-novembre lorsque les précipitations moyennes mensuelles atteignent 180 mm. À cette période, le travail des riziculteurs consiste à labourer la terre, préparer les semis et vérifier les derniers entretiens des canaux d'irrigation. Les variétés de semences à cycle long (cycle de développement supérieur à 145 jours) comme le *tsipala fohy mena* sont les plus utilisées. Le système de riziculture irriguée dans la cuvette d'Andapa demande en moyenne un litre d'eau par seconde et par hectare de rizières cultivées au cours de sa période de végétation. Cette énorme quantité est surtout indispensable au moment du repiquage. L'analyse des pluies et du calendrier montre clairement que le retard de la saison des pluies, observé ces cinq dernières années, a reculé les travaux de préparation des parcelles d'environ un mois. Ce qui était prévu par l'habitude des pratiques ne peut plus se faire avec certitude aujourd'hui (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 1. Principales activités selon le calendrier rizicole à Andapa (variété de cycle long).

Calendrier prévisionnel moyen — Calendrier observé sur la période 2020-2024

Période / Activités	Nov.				Déc.				Jan.				Fév.				Mars				Avr.				Mai			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Préparation sol																												
Semis																												
Repiquage																												
Fertilisation																												
Sarclage																												
Récolte																												

Entre 2017 et 2019, la dernière semaine du mois de novembre était toujours la période propice pour le semis en raison de l'abondance (en moyenne, 186 mm) de pluies tombées. Pourtant, en novembre 2020, les agriculteurs n'ont pas encore préparé leurs rizières, car seulement 56 mm de pluies ont été tombés à Andapa. Depuis 2020, le temps de repiquage de toutes les campagnes est dès lors reporté au mois de janvier où la moyenne des précipitations atteignait 384 mm (2020 à 2024) pour éviter les conséquences sur le semis de l'assèchement hydrique.

L'étude des régimes pluviométriques illustre une double manifestation de la variation des précipitations dans la cuvette d'Andapa : une période de pluie de plus en plus courte (décembre-mars) et une diminution majeure de la quantité des pluies tombées La baisse de production de riz entraine des conséquences importantes sur l'économie des ménages parce que 470 ménages sur les 925 enquêtés ont déclaré percevoir un revenu mensuel de moins de 250 000 Ariary (l'équivalent du salaire mensuel minimum à Madagascar). Les conséquences de la baisse des pluies sont, par ailleurs, plus significatives pour les variétés de semences à cycle long et concernent également les variétés à cycle intermédiaire (entre 120 et 140 jours). La réduction de la durée de la saison de pluie affecte plus particulièrement les périodes de semis (Randriamarolaza *et al.,* 2023).

Sur les cinq années d'études, l'année 2023 a été considérée comme l'année la plus sèche avec un cumul de 1 839 mm des précipitations tombées. L'année 2019, en revanche, a été le plus arrosée avec un total de 3 008 mm de pluies. Le manque d'eau est désigné par 91 ménages (soit 10% des interrogés) comme facteur principal de la baisse de leur rendement, qui est seulement de 2 tonnes par hectares. Par ailleurs, le temps de la jachère est devenu également inexistant parce qu'il n'en reste plus qu'un mois de pause entre la réalisation de la campagne principale et la contre-saison. Seulement 13 %, soit 124 sur les 925 ménages enquêtés ont pratiqué de la jachère sur leurs rizières. La diminution des pluies, le décalage des activités et l'absence d'application de la jachère entrainent une conséquence importante sur la production, qui passe d'environ 50 000 tonnes lors la grande saison 2020 à environ 32 000 tonnes en 2024 d'après les données de la CIRAE en 2024. La baisse de production de riz entraine des conséquences importantes sur l'économie des ménages parce que 470 ménages sur les 925 enquêtés ont déclaré percevoir un revenu mensuel de moins de 250 000 Ariary (l'équivalent du salaire mensuel minimum à Madagascar).

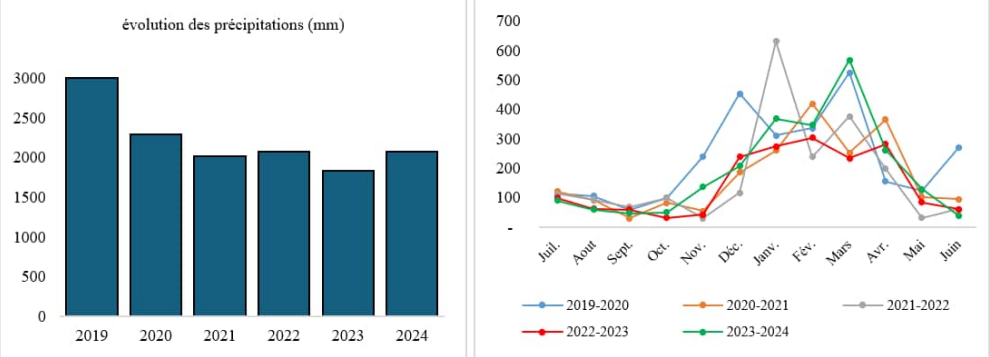


Figure 2. Régimes pluviométriques moyens (2019-2024) en mm à Andapa

2.2. Une campagne de contre-saison menacée

L'aménagement hydro-agricole d'Andapa permet aux riziculteurs de faire une double culture annuelle du riz (Laney *et al.,* 2015). La campagne principale *(vary taona)* intervient durant la saison des pluies de novembre à mars et la contre-saison *(vary jeby),* se déroule pendant la saison sèche (juin-septembre). Si au mois de juin 2020, le cumul mensuel des pluies est de 271 mm, il n'est plus que de 40 mm en juin 2024, soit une différence moyenne d'environ 58 mm en quatre ans. Entre 2019 et 2024, la moyenne de la baisse des précipitations observée en saison pluvieuse à Andapa est de 60 mm. Elle est d'environ 91 mm en saison sèche. La diminution de la quantité des pluies est alors plus importante en saison sèche qu'en saison humide durant ces cinq dernières années (tableau 2). La tenue de cette deuxième campagne est donc menacée par cette baisse des précipitations et par l'arrivée plus tardive de la saison des pluies. Randriamarolaza *et al.* (2023) ont déjà observé que cultiver du riz deux fois par an ne pourrait plus être possible dans les années à venir dans cette partie nord et est du pays. Contrairement à la partie ouest où la réduction de la période de semis ou d'ensemencement est moindre.

Tableau 2. Évolution des pratiques agricoles lors de la réalisation des campagnes rizicoles

	Pratiques rizicoles	**2012 - 2019**	**2020 - 2024**
Campagne principale	Réalisation	Novembre - Avril	Décembre - Mai
	Variétés semences	Cycle long	Cycle long + cycle intermédiaire
	Moyenne des précipitations	1 740 mm	1 620 mm
Campagne de contre saison	Réalisation	Juin - Septembre	Juillet - Octobre
	Variétés semences	Cycle moyen + cycle court	Cycle court
	Moyenne des précipitations	400 mm	227 mm

Plus de 95 % de la culture du riz à Andapa se pratique dans les périmètres irrigués où l'irrigation des parcelles se fait par un captage au fil de l'eau. Le niveau d'eau dans les prises dépend alors de la disponibilité de l'eau captée dans les ouvrages. Les prises principales au niveau des barrages sont équipées par des vannes de chasse pour faciliter leurs fonctionnements (ouverture et fermeture). La baisse des précipitations, surtout en période sèche, réduit considérablement le débit disponible au niveau de ces réseaux d'irrigation. Leurs fonctionnements ne sont donc pas optimisés, entrainant le manque d'eau dans les rizières. À titre de référence, le débit théorique en tête de bassin 75 litres par seconde d'eau mesurée au mois de mai 2022, au niveau des deux prises principales du barrage du périmètre d'Andalamena, est trop juste pour irriguer les 68 hectares de superficie de ce périmètre.

Pour faire face à cette problématique, il a été recommandé aux paysans par les instances locales d'amorcer la campagne de contre-saison pour bien assurer le développement optimal de culture. Les usagers de l'eau adoptaient également le tour d'eau entre les parcelles. Les rizières situées en aval ont été priorisées jusqu'à ce que la quantité d'eau nécessaire soit atteinte. Les parcelles dans les zones intermédiaires sont ensuite irriguées, avant que celles situées en amont ne puissent en bénéficier. Ce tour d'eau commence au début du mois de juin (précipitations moyenne de 123 mm). Mais comme en 2024, environ 35 % des ménages n'ont pas pu faire une campagne de contre-saison malgré l'application de cette mesure et ce schéma de partage. Certaines rizières, notamment celles des parties aval des périmètres, sont encore privées d'eau, même si des travaux de réhabilitation des réseaux d'irrigation ont été réalisés depuis 2019.

2.3. Problème social de la gestion de l'eau

La baisse significative des pluies génère également des problèmes sociaux sur la distribution de l'eau dans les parcelles entre les usagers de l'eau des plaines qui ont pu être soulignés par les enquêtes réalisées dans le cadre de ce travail. Les propriétaires fonciers placés en amont des périmètres irrigués sont clairement les plus avantagés vis-à-vis de la ressource et l'emplacement de leurs parcelles à proximité du barrage. Les usagers de l'eau plus éloignés se considèrent donc moins, voire pas du tout, redevables à leurs associations (et instances décisionnelles) d'appartenance. Ils refusent alors de payer les frais d'entretien des réseaux et ouvrages d'irrigation. En 2021, le taux moyen du paiement des frais d'entretien est seulement de 9 % au niveau des 50 associations des usagers de l'eau qui gèrent les 19 périmètres irrigués d'Andapa. L'insatisfaction des usagers sur les services de partage de l'eau dans les rizières en est la principale cause selon les membres de bureau des associations des usagers de l'eau lors des entretiens.

Les associations des usagers de l'eau (AUE), à qui la remise en état, la gestion, l'entretien et la protection (REGEPP) des réseaux hydroagricoles ont été confiés, ont du mal à assurer leur rôle principal : la gestion et la distribution équitable de l'eau auprès des membres. Le changement climatique (donc des régimes pluviométriques) ne fait qu'aggraver la situation parce qu'aucune infrastructure de stockage d'eau n'a été installée à Andapa, malgré les constructions et réhabilitations des réseaux d'irrigation entrepris entre 2019 et 2023.

Pour pallier cette perte de revenu, de nombreux riziculteurs dans les plaines d'Andapa commencent progressivement à faire de la pisciculture pour améliorer leur source de revenue. Sur les 925 ménages, 154 (16 %) pratiquent cette activité. Or, la localisation des zones d'élevages dans la partie amont des barrages complique davantage les problèmes de manque d'eau dans les rizières, plus particulièrement pendant la réalisation de la contre-saison car les pisciculteurs gardent beaucoup d'eau dans leurs installations, provoquant ainsi la diminution des débits d'eau au niveau des ouvrages d'irrigation.

2.4. Conquête des versants pour le riz pluvial

Même si les plaines sont très prisées par les riziculteurs à Andapa (Laney *et al.,* 2015), ils se tournent progressivement vers les collines à cause non seulement du manque d'eau dans les zones irriguées, mais aussi pour avoir de nouvelles terres cultivables. Ce système de culture (*vary an-tanety*) est aujourd'hui en pleine expansion, avec 6 % des pratiquants parmi les ménages enquêtés, alors qu'auparavant, les versants étaient strictement affectés aux cultures de rente, notamment la vanille et le café.

Ces pratiques se concentrent principalement le long de l'axe des versants nord de la cuvette, plus précisément au niveau des communes rurales de Marovato, d'Andasibe Kobahina et d'Ambalamanasy II. Les riziculteurs défrichent *(tavy)* les versants afin de pouvoir semer à la première venue des pluies sans avoir recours à des techniques de culture spécifiques. La riziculture s'y pratique surtout au mois de janvier, période optimale avec une pluviométrique mensuelle moyenne de 370 mm entre 2019-2024. En outre, c'est également une période de passage des cyclones tropicaux qui touchent fréquemment cette zone du nord-est de Madagascar et qui apportent beaucoup de pluies, comme ce qui a été le cas au mois de janvier 2023. Les producteurs utilisent sur ces espaces des variétés de semences à cycle court (90 jours de cycle de développement). Elles demandent moins d'eau et peuvent se développer rapidement dans un contexte où le facteur pluviométrique devient très aléatoire.

L'abandon des parcelles mal aménagées après la réalisation d'une seule campagne de culture expose les versants à une érosion plus accentuée des terres (Aubert *et al.,* 2014 ; Cossart, 2024). Les eaux de pluie emportent alors facilement les éléments des sols, accélérant ainsi l'ensablement des plaines dans les bas-fonds. Cela peut causer la réduction des superficies cultivées et conditionne une diminution des rendements, avec une moyenne de 2,4 tonnes par hectares durant la campagne principale de 2022-2023 (CIRAE, 2024). Cette rentabilité reste très médiocre par rapport au rendement des grandes plaines hydroagricoles africaines, comme le Sénégal ou le Niger (même si les rendements dans ces régions restent plus modestes que ceux imaginés lors de leurs aménagements).

Conclusion

Les changements récents des pratiques rizicoles imposées par les modifications des régimes pluvio-agricoles ont des impacts majeurs sur la production du riz dans la région Andapa. En outre, avec ces modifications pluviométriques, les organisations et les associations paysannes n'arrivent plus totalement à gérer les conséquences sociétales liées à la distribution équitable de l'eau d'irrigation, notamment par la grande dépendance des agriculteurs vis-à-vis des aides et des appuis financiers temporaires mise en place ces dernières années. Pour demain, l'adaptation des pratiques rizicoles aux nouveaux contextes climatiques doit s'accompagner par des stratégies pérennes, et plus encore, dans une région comme celle d'Andapa où la compétence technique et la capacité financière des producteurs sont parmi les plus faibles du pays.

L'intervention de l'État est alors essentielle pour élaborer des stratégies efficaces de gestion durable de l'eau afin d'assurer non seulement un meilleur rendement de production aujourd'hui, mais aussi dans les années à venir, et de garantir l'autosuffisance alimentaire du pays. Certes, les partenaires techniques et financiers des projets-programmes aident à la pérennisation des activités menées au niveau de la population locale, mais leurs temps d'intervention paraissent très courts par rapport aux défis et enjeux socio-hydro-agricoles.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier le service de la météorologie de Madagascar et la CIRAE d'Andapa pour leur collaboration et la mise à disposition des données pluviométriques et les données hydro-agricoles de la zone d'Andapa. Ils remercient aussi le SCAC de l'Ambassade de France à Madagascar pour le soutien via une bourse d'excellence.

Bibliographie

Aubert S., Razafiarison S., Bertrand A., 2014 : Déforestation et systèmes agraires à Madagascar : les dynamiques des tavy sur la côte orientale. Montpellier: CIRAD-CITE-FOFIFA, 9-85. https://doi.org/10.19182/agritrop/00211

Barrett T. M., Soarimalala V., Pender M., Kramer R. A., Nunn C. L., 2025: Climate Change Perceptions and Adaptive Behavior Among Smallholder Farmers in Northeast Madagascar. PLOS Clim **4** (3) 17 p. https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000501

Cossart E., 2024 : Atténuer l'érosion des terres. Ces agriculteurs qui prennent soin des sols. In Protéger les terres. Les géographes s'engagent. Débats, CNRS Editions, 49-62.

Laney R., Turner B. L., 2015: The Persistence of Self-Provisioning Among Smallholder Farmers in Northeast Madagascar. *Hum Ecol* **43**, 811–826. https://doi.org/10.1007/s10745-015-9791-8

Kotomangazafy S., Raholijao N., Rakotomavo Z., Leroux M., Bonnardot F., 2023 : Tendances climatiques observées et futures Changements Climatiques à Madagascar. Direction Générale de la Météorologie de Madagascar & Direction Interrégionales de la Météo France pour l'Océan Indien, La Réunion ; 24 p.

Neuvy G., 1979 : Aménagement régional à Madagascar – La cuvette d'Andapa. *Madagascar revue de géographie*, (35), 55-139.

Randriamarolaza L., Aguilar E., 2023: Rainy season and crop calendars comparison betwenn past (1950-2018) and future (2030-2100) in Madagascar. Meteorological Application, *RMetS*, **30** (5), 22 p. https://doi.org/10.1002/met.2146

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRODUCTIVITE AGRICOLE DANS LE DEPARTEMENT DE FATICK, BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL

Djibrirou Daouda BA et Amadou Tidiane THIAM

1.Laboratoire Mémoire, Métiers et Territoire d'Afrique (M2TA)

Enseignant-chercheur, Département d'Histoire et Géographie, FASTEF/UCAD, djibrirouba@yahoo.fr

2. Professeur de Lycée affilié, Laboratoire Mémoire, Métiers et Territoire d'Afrique (M2TA)

Résumé :*Le changement climatique est un des principaux facteurs de perturbation des systèmes agricoles dans de nombreuses régions, notamment en Afrique subsaharienne. L'objectif de l'article est d'analyser l'impact des changements climatiqu :es sur les rendements agricoles dans le Département de Fatick. Les données climatiques extraites de la base de données de l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie (ANACIM) et d'autres données issues d'institutions spécialisées. La corrélation entre la variabilité pluviométrique et l'évolution des rendements agricoles est analysée à partir du coefficient de Pearson sur la période 1990-2022.***Mots clefs :** *climat, agriculture, corrélation, impacts*

Abstract : ***Climate change and agricultural productivity in the Fatick department, Senegal groundnu*t basin:***The objective of this article is to analyze the impact of climate change on agriculture yields in the Department of Tataguine. The methodology focuses on climate data extracted from the database of the National Agency for Civil Aviation and Meteorology (ANACIM) and other data from specialized institutions. The correlation between rainfall variability and the evolution of agricultural yields is analyzed using Pearson's co-efficiency over the period 1990-2022. The results reveal that climate change impacts on agriculture.*

Key words: *climate, agriculture, correlation, impacts*

Introduction

Le changement climatique est un défi majeur pour les systèmes de cultures en zone tropicale en raison de la particulière sensibilité des cultures familiales annuelle au climat (Gérardeaux et al. 2015). Il est même présenté comme le plus grand défi de l'humanité (AMCEN, 2014). Le climat soudano sahélien est caractérisé par des températures extrêmes avec des périodes de précipitations fluctuantes et une sécheresse intense. Selon un rapport du GIEEC, 2022 cité dans le rapport stratégique de l'OFE (2024), l'Afrique subsaharienne est la région la plus vulnérable à ce phénomène au monde (GIEC, 2022; WMO, 2025). Cette situation compromet sérieusement l'agriculture, par ricochet, la production de nourriture et la sécurité alimentaire. Selon le rapport du GIEEC de 2021 d'ici 2050 dans certains pays, dont le Sénégal, les rendements agricoles peuvent diminuer de 10 à 20 %. Inversement les activités agropastorales extensives contribuent considérablement à la dégradation des écosystèmes et au dérèglement climatique par l'amincissement du couvert végétal, la perturbation des équilibres pédologiques et la production de gaz à effet de serre (Diop, 2017 ; Ba ; 2018 ; Ba et al., 2020). Plus spécifiquement encore dans le Bassin arachidier les conditions climatiques de type soudano sahélien sont caractérisé par des températures élevées, une courte saison des pluies une saison sèche relativement longue (Sarr et al., 2020 ; Diarra et al. 2022). Cette situation entraine une forte vulnérabilité de l'agriculture face au climat dans un contexte marqué par des variations de température, une forte variabilité interannuelle des précipitations et une intensification des phénomènes climatiques extrêmes (Sarr et al., 2020). C'est pourquoi la thématique présente un intérêt certain car l'atteinte des objectifs du développement durable (ODD) passe aussi par la maitrise de l'information climatique et le renforcement des mesures liées au climat (PNUD, 2016). L'objectif du texte est d'analyser l'impact du changement climatique, notamment de la variabilité pluviométrique qui est une manifestation, sur la productivité agricole dans le Bassin arachidier. Les objectifs spécifiques du texte sont: analyser l'évolution des paramètres climatiques et des rendements agricoles; démontrer la corrélation entre les différentes variables.

1. Données et Méthode

1.1 Données

1.1. 1. Présentation de la zone d'étude

Fatick est un des trois départements de la région éponyme. La superficie du département est de 2 646 km². Au plan écogéographique le Département appartient à la zone tropicale sahélo-soudanienne du Sénégal, entre les isohyètes 400 mm et 600 mm. Les sols sont essentiellement de type ferrugineux tropicaux lessivés, meuble et permébables favorisant la culture de l'arachide. Il est couvre une partie du Bassin arachidier qui est l'une des principales zones de production agricole du Sénégal. Il constitue le principal grenier de l'arachide qui est encore la première culture rente ce qui lui confère un rôle majeur dans l'économie nationale (Thiam et al., 2020).

1.1.2. Les données.

Les données climatiques utilisées sont fournies par l'ANACIM. Elles portent sur la pluviométrie et la température mensuelle sur la période 1990 à 2022. Ces données ne présentent aucune lacune. Parallèlement, la DAPSA (Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles) nous a fourni des données sur les surfaces en hectare allouées à la culture de l'arachide ainsi que les rendements en kilogramme par hectare du département de Fatick sur la période allant de 1988 à 2023.

Attention les données à notre disposition concernent tout le département de Fatick. Le choix de l'échelle départementale se justifie doublement ; d'une part l'unique station synoptique permettant de collecter les différents paramètres climatiques se situe dans le chef-lieu du département, d'autre part les données agricoles fournies par la DAPSA n'existent que par département.

1.2. Méthode

Pour étudier la relation entre le climat et les rendements agricoles nous nous sommes appuyés sur deux (2) méthodes statistiques à savoir le coefficient de Pearson et la régression linéaire.

Ce coefficient a été utilisé pour mesurer la force et le sens de la relation linéaire entre les variables (Pearson, 1896), en l'occurrence entre l'évolution du climat et les rendements agricoles.

Une régression linéaire simple a été effectuée comme modélisé par Bates et al. (2014) en ce qui concerne la relation entre les précipitations et les rendements agricoles.

2. Résultats

2.1. Coefficient de Corrélation de Pearson

Le calcul du coefficient de corrélation de Pearson entre les précipitations et les rendements agricoles dans le département de Fatick a donné un résultat de 0,84. Cela signifie que pour la période 1981-2023 il y a une forte corrélation positive entre la pluviométrie annuelle et la productivité agricole. Ainsi on constate que les occurrences de forte pluviométrie coïncident généralement avec des niveaux de production agricole plus élevés, à l'inverse celles de déficit pluviométrique ont souvent été synonymes de faibles rendements.

Ainsi, l'année 1983 particulièrement déficitaire constitue l'exemple le plus illustratif avec une pluviométrie de 272,5 mm largement en deçà de la moyenne de la série estimée à 578 mm. D'autres années comme 1997, 2003 et 2014 ont aussi été caractérisées par une pluviométrie relativement faible (entre 400 mm et 500 mm. Elles sont toutes associées à de faibles rendements. Dans chacune de ces années, le coefficient de corrélation avec les rendements était compris entre 0,75 et 0,83.

A l'inverse, les années les plus pluvieuses coïncident avec des rendements également qui dépassent la moyenne. C'est le cas de 2012, 2013, 2015 et 2016 qui ont connu des précipitations bien au-dessus de la normale. L'année la plus marquante demeure 2022, avec un record de 1 002 mm. Dans ces années, le coefficient de corrélation entre pluviométrie et rendement variait entre 0,86 et 0,91, ce qui confirme la réponse positive des cultures à des conditions hydriques favorables.

D'autres années sont plus ou moins normale1996, 2007 ou 2010, ont affiché des précipitations proches de la moyenne (environ 570-600). Ces années ont vu des rendements agricoles stables, avec un coefficient de corrélation d'environ 0,70, soulignant une relation positive, bien que moins marquée.

Ces résultats montrent que la pluviométrie un facteur déterminant impactant de la productivité agricole.

2.2. Régression Linéaire

L'étude de la relation entre la pluviométrie annuelle et les rendements agricoles révèle l'existence d'une relation linéaire forte et significative. Le modèle de régression linéaire simple s'écrit comme suit : rendement (kg/ha)=0,45×Pluviometrie (mm)−100.

Ce modèle indique qu'une augmentation de 1 mm de pluie dans une année donnée se traduit, en moyenne, par une augmentation de 0,45 kg/ha du rendement agricole. Cela traduit l'importance de la ressource hydrique dans la performance des cultures, notamment dans une zone fortement dépendante de l'agriculture pluviale.

La pertinence de cette relation apparaît clairement lorsqu'on observe certaines années déficitaires. En 1983, par exemple, la pluviométrie n'a atteint que 272,5 mm, l'une des plus faibles enregistrées sur la période ; les rendements agricoles sont tombés à environ 350 kg/ha. De même, en 1997 et 2003, la pluviométrie s'est maintenue autour de 300 mm, et les rendements ont respectivement été estimés à 400 et 450 kg/ha. En 2014, une autre année sèche avec 350 mm de pluie, les rendements n'ont guère dépassé 500 kg/ha, confirmant la tendance linéaire estimée par le modèle.

De l'autre côté, les années excédentaires confirment la relation positive entre la pluviométrie et les performances agricoles. En 2022, avec 1 002 mm de pluie les rendements ont atteint environ 1 200 kg/ha, un niveau exceptionnel dans l'histoire récente de la région. D'autres années comme 2012 (922,5 mm, 1 100 kg/ha), 2015 (980 mm, 1 180 kg/ha) et 2013 (950 mm, 1 150 kg/ha) montrent des rendements bien supérieurs à la moyenne, en parfaite cohérence avec les prévisions du modèle de régression.

Entre les années sèches et celles pluvieuse il y a des années plus ou moins normales avec une pluviométrie autour de la moyenne de 578 mm. En 1996, par exemple, avec une pluviométrie 577 mm, les rendements étaient de 700 kg/ha. Les années 2007 et 2010, avec respectivement 590 mm et 600 mm, ont affiché des rendements de 710 et 720 kg/ha. Ces résultats confortent le modèle statistique.

Le coefficient de pente du modèle (0,45) indique que même de modestes variations de la pluviométrie peuvent avoir des conséquences significatives sur la productivité. Cela renforce la nécessité d'intégrer des stratégies d'adaptation climatique.

2.3. Suivi de la variabilité climatique et de l'évolution des rendements

Les pluies connaissent une irrégularité due aux changements climatiques, avec des périodes de sècheresse prolongées suivies de fortes précipitations. Cette irrégularité influe sur la maturation, la qualité des gousses et la réalisation de la récolte. Elle réduit donc les rendements (figure 1).

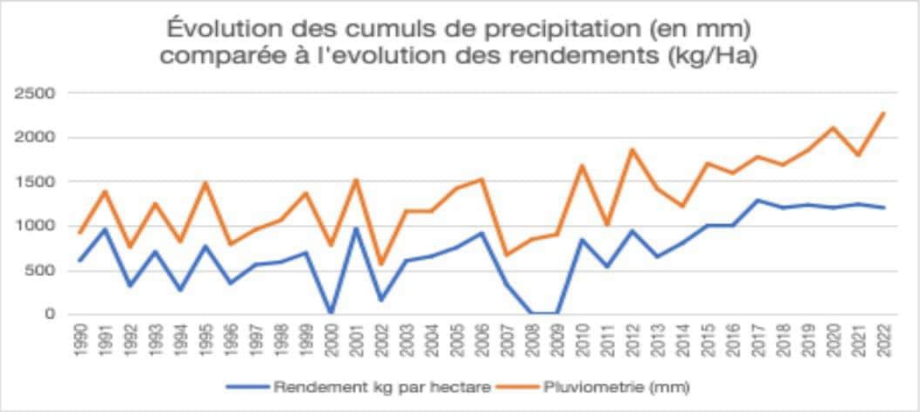


Figure 1. Evolution comparée de la production et de la pluviométrie de 1990 à 2022

De 1990 à 2022, on note un total de 15 années excédentaires par rapport à la normale de 1961-1990 et 18 années déficitaires avec un cumul pluviométrique en moyenne de 603,9mm. On note également que 2022 correspond au maximum pluviométrique avec un cumul de 1060,7 mm tombés. Par contre le minimum déficitaire est relevé en 1990 (314,7mm) avec un écart de 250,7 mm par rapport à la normale de 1961-1990 qui est de 565,4mm.

En outre, on note, durant la période considérée, une évolution pluviométrique en dents de scie avec une légère tendance à la hausse. Cette évolution est marquée d'une part, par une alternance de fourchettes d'anomalies positives et négatives et d'autre part, par une irrégularité interannuelle des totaux. De 1991 à 2000 avec 8 années déficitaires, de 2001 à 2010 cinq années excédentaires contre 5 année déficitaires avec 2009 et 2007 étant respectivement année du maximum (8,95 mm) et du minimum (336,6 mm) pluviométriques, la dernière décennie avec 7 années excédentaires est la plus humide c'est aussi celle de l'année la plus pluvieuse de toute la série avec 1060,7 mm en 2022.

Fort de ce constat, on peut conclure qu'effectivement les précipitations sont caractérisées par une grande variabilité qui peut être interprétée comme une des manifestations des changements climatiques qui impactent sur les rendements agricoles.

3. Discussion

Cet article visait à évaluer la relation entre le changement climatique et les rendements agricoles dans le département de Fatick. L'analyse des coefficients de corrélation linéaire est associée à celle de régression multivariée du lien production-changement climatique. Les résultats obtenus dans cette confirment l'existence d'un lien statistique fort entre les deux principaux variables utilisés : la pluviométrie annuelle et les rendements. Le coefficient de corrélation de Pearson, évalué à 0,85, indique une corrélation positive élevée, suggérant que les années caractérisées par une pluviométrie abondante sont généralement associées à des rendements plus élevés. Ce constat rejoint d'autres études faites en Afrique subsaharienne, où l'agriculture dépend principalement des précipitations, particulièrement dans les systèmes de culture pluviale comme l'arachide (Clicours, 2018 ; ANSD, 2022).

Les résultats du modèle de régression linéaire renforcent confirment les conclusions précédentes. Ainsi un lien linéaire selon lequel chaque mm de précipitation augmenterait de 0,45 kg/ha permet d'estimer l'impact direct de la variabilité pluviométrique sur la production agricole.

Ces résultats confirment que la pluviométrie est le principal facteur explicatif des rendements agricoles dans ce contexte agroécologique. En ce sens nous sommes en phase avec les conclusions des études menées sur la même thématique au Sénégal (Ba et al. 2018; Badiane et

al, 2021; Diarra et al. 2022), dans le Bassin arachidier sénégalais (Sougou et al., 2023) mais aussi dans d'autres contextes écogéographiques comme en Côte-d'Ivoire (Diomandé et al. 2018). Cependant, il convient de préciser que la pluviométrie n'est pas l'unique facteur explicatif de la variabilité interannuelle des rendements agricoles. Comme le rappelle la FAO (2019) les pratiques culturales, les attaques parasitaires, les semences voire les dates de semis ont une influence.

Par ailleurs, la forte dépendance de la productivité agricole à la pluviométrie notée dans le Département illustre la vulnérabilité des systèmes agricoles dans une des zones les plus touchées par le changement climatique (GIEEC, 2022, WMO, 2025). La tendance vers une variabilité pluviométrique accrue avec la fréquence d'événements météorologiques extrêmes comme les sècheresses et des précipitations extrêmes appelle à des réponses adaptées : développement de semences tolérantes à la sécheresse, conservation des eaux de surface, pratiques agroécologiques, ou encore irrigation d'appoint à petite échelle (Sultan et Gaetani, 2016 ; FAO, 2019, WMO, 2025). Ces options, combinées à une gestion intégrée des ressources, permettraient de renforcer la résilience de l'agriculture locale.

Conclusion

En conclusion, cette étude apporte des éléments solides pour démontrer le rôle central de la pluviométrie dans la dynamique des rendements agricoles dans le département de Fatick. Les outils statistiques mobilisés, tant descriptifs (corrélation) que prédictifs (régression), offrent un cadre de réflexion utile pour l'élaboration de politiques agricoles climato-intelligentes dans les zones vulnérables du Sénégal. Il en ressort également que l'adaptation des pratiques agricoles est cruciale pour répondre aux défis posés par le contexte du changement climatique. La réflexion sur la perception du phénomène par les populations du Bassin arachidier ainsi que les stratégies de résilience et les techniques agricoles plus intelligentes face au climat sont les perspectives de recherche envisagées.

Bibliographie

AMCEN, 2014: *Stratégie africaine sur le changement climatique*, AMCEN-15-REF-11, 84 p.

ANSD., 2022: *Situation économique et sociale de la région de Fatick*. Dakar : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie.

Ba D. D., 2018 : *Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal (Région de Matam*), Thèse de doctorat unique, Université Gaston Berger de Saint-Louis, Section de géographie, 216 p.

Ba D. D., 2020: *Changement climatique, érosion éolienne et perspectives de l'agriculture et de l'élevage :* cas de la Région de Matam, Sénégal septentrional, Editions Universitaires Européennes, 215 p.

BA D. D., DIOP T. et SOW S. 2020 : Plant cover trends in a context of drought and of pastoral activities' resilience in the Matam Region in Northern Senegal: The case of the Ferlo Biosphere Reserve (RBF), *Revue Nature & Faune*, volume **33**, issue 1, pp. 64-69.

Badiane A., Diallo A. et Ndiaye O., 2021: Changements climatiques et impacts sur la production agricole au Sénégal. *Journal of Climate and Agriculture*, **5(2)**, 115-130.

Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu, S. et Palutikof J.P., 2014: *Climate Change and Water*. Intergouvernemental Panel on Climate Change (IPCC).

Clicours, 2018 : *Évolution de la pluviométrie moyenne annuelle à la station de Fatick*. https://www.clicours.com/evolution-de-la-pluviometrie-moyenne-annuelle-a-la-station-de-fatick/

Diarra M., Sarr M. et Gueye A., 2022: L'impact du changement climatique sur l'agriculture au Sénégal: Cas de la région de Fatick. *Revue Climat et Agriculture*, **13**(3), 78-93.

Diomande B. I. et Okoman N. K., 2018 : Impacts de l'irrégularite pluviometrique sur la production de banane dessert dans la sous prefecture d'azaguie en côte d'ivoire, *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, N° 07, Volume **2**, octobre 2018, 15-33.

Diop T., 2017 : *Dégradation des terres agricoles en milieu sahélien : Cartographie et Techniques de récupération des sols salés dans les périmètres rizicoles du Delta du Fleuve Sénégal*. Thèse de Doctorat UGB, Section de géographie, 201 p.

FAO., 2019: *Gestion des risques climatiques et résilience des systèmes agricoles en Afrique de l'Ouest*. Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.

Gérardeaux E et Aïda U .R., 2015 : *Systèmes de cultures annuelles et changement climatique* "Changement climatique et agriculture : une séléection des compétences du CIRAD

GIEC ,Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/

OFE (Observatoire de la francophonie économique), 2024 : Notes d'analyses stratégique, Production agricole et changements climatiques, sous la direction de Hervé A. Prince, Université Montréal, 9 p.

Pearson K., 1896 : Mathematical Contributions to the Theory of Evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society,* **187**, 253-318.

PNUD 2016 : Le PNUD face aux changements climatiques : renforcer les mesures liées au climat afin de réaliser les objectifs de développement durable. 44 p.

Sarr, M., Diouf, M. et Sy M. 2020 : Changements climatiques et leurs effets sur la production d'arachide au Sénégal. *Climate Change and Agricultural Sustainability*, **12**(**1**), 124-136.

Sougou A., Diao . A. T., Seck M. B., Gueye D., Sarr M. et Sy B. A. 2023: Variabilité climatique et dynamique du couvert végétal dans un contexte spatial anthropisé : cas de la partie est du Bassin arachidier du département de Thiès (badt), centre-ouest du Sénégal. N° **010** _ Décembre 2023, 404-420

Sultan B., Lalou R., Sanni M. A., Oumarou A., Soumare M.A. 2015 : *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest*, IRD Editions, Marseille, 2015, 466 p.

Thiam, N., Sarr, M., et Diop, S., 2020 : Adaptation des systèmes agricoles au changement climatique dans le Bassin arachidier du Sénégal. *Environmental Science and Policy,* **18(5)**, 167-181.

Sultan, B., & Gaetani, M., 2016 : Agriculture in West Africa in the twenty-first century: Climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation. *Frontiers in Plant Science, 7*, 1262. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262

WMO, World Meteorological Organization, 2025 : *State of the Global Climate 2024*, WMO-No. **1368**, 42 p.

IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES EN ZONE SEMI-HUMIDE AU BENIN

Yaovi Aymar BOSSA [1,2,3]*, Johannot TONON[1], Ernest AMOUSSOU [3,4], Jean HOUNKPE [1,2,3], Luc O. SINTONDJI[1,2].

1 National Institute of Water (INE), University of Abomey-Calavi (UAC); bossa.aymar@gmail.com, hounkpe.j@wascal.org, o_sintondji@yahoo.fr

2 Africa Centre of Excellence for Water and Sanitation (C2EA), University of Abomey-Calavi (UAC)

3 Hydro-Climate Services, Ouagadougou, Burkina Faso

4 Department of Geography and Regional Planning (DGAT), University of Parakou, Parakou, Benin, ernestamoussou@gmail.com

Résumé : *Les systèmes de production du bassin de l'Ouémé sont exposés aux risques hydro-climatiques, affectant les aménagements de bas-fonds. L'étude menée à Koussin-Lélé analyse l'impact de cette variabilité sur les périmètres irrigués. Des investigations de terrain et des analyses hydrauliques montrent une augmentation de 6,57 % des pluies et de 1,39 % de la température entre 1981 et 2020. La capacité de drainage des canaux (13,87 m³/s) est inférieure aux crues bi-annuelles à décennales. Cela provoque des inondations fréquentes entre juin et septembre, provoquant érosion, ensablement et pertes agricoles. Les digues sont endommagées et les calendriers agricoles perturbés. Un nouveau calendrier basé sur le régime hydrologique est proposé comme solution immédiate.*

Mots-clés : *Variabilité climatique ; aménagement hydro-agricole ; analyse de fréquence ; analyse hydrodynamique.*

Abstract: Impact of Climate Variability on Hydro-Agricultural Developments in a Semi-Humid Zone in Benin. *The production systems in the Ouémé basin are highly exposed to hydro-climatic risks, affecting lowland agricultural infrastructures. This study, focused on the irrigated areas of Koussin-Lélé, assesses the impact of climate variability. Field investigations and hydraulic analyses revealed a 6.57% increase in rainfall and a 1.39% rise in temperature between 1981 and 2020. The drainage capacity of the canals (13.87 m³/s) is lower than the flow from bi-annual to decadal floods. This leads to recurrent flooding from June to September, causing erosion, siltation, and crop losses. Dikes are damaged and farming schedules are delayed. As an immediate solution, a new agricultural calendar based on the hydrological regime is proposed.*

Key words: *Climate variability; hydro-agricultural development; frequency analysis; hydrodynamic analysis.*

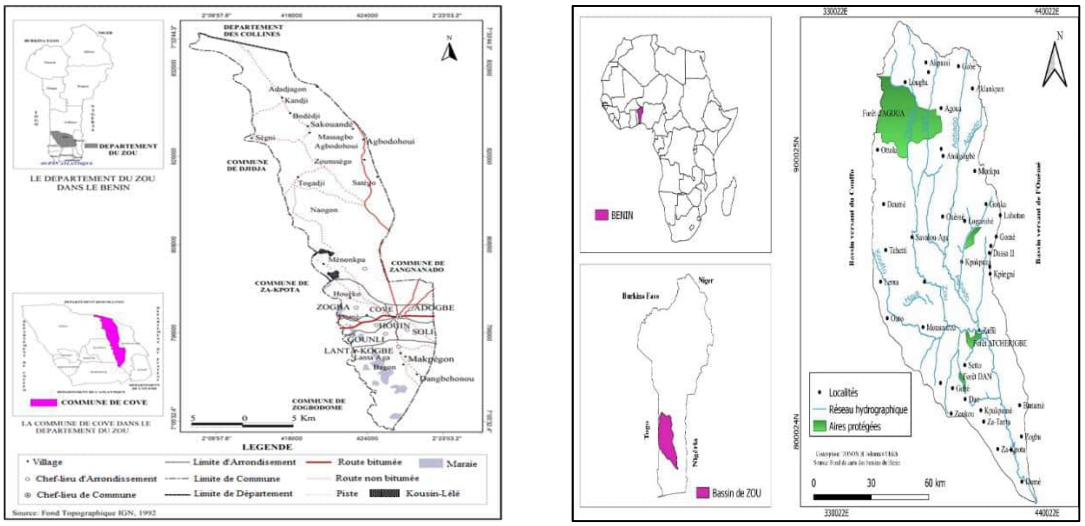
Introduction

Climate change is a major concern for the international scientific community. In Africa, its vulnerability is amplified by heavy dependence on natural resources (IPCC, 2013). Benin is experiencing increased rainfall variability (Ozer et al., 2010), leading to droughts and floods. Flooding, particularly in the Ouémé and Mono basins, affects between 400,000 and 600,000 people per season (Totin, 2012), causing agricultural losses, destruction of infrastructure and economic slowdown. These events compromise hydro-agricultural schemes, reducing their effectiveness in regulating excess water (Verlinden & Dembele, 2002). Faced with these challenges, solutions such as the development of flood forecasting models, improved governance and updated design criteria for hydro-agricultural infrastructures (Michaud et al., 2012) are needed. This study analyzes the impact of climate variability on the irrigated perimeters of Koussin-Lélé, near the Ouémé River, by examining climatic trends and the hydrological and hydraulic functioning of the site.

1. Materials and methods

1.1. Study area

The Koussin-Lélé irrigated perimeters cover around 106 hectares and are located between latitude 7°14'43.0" North and longitude 2°17'02.5" East. They belong to the Zou watershed, which extends over 8,920 km² and crosses several communes, including Djidja, Bantè, Savalou and Covè (SDAGE, 2013) (Figure 1).



(a) (b)

Figure 1. Geographical location of Covè with irrigated perimeters of Koussin-Lélé (a) and Zou watershed (b)

1.2. Materials

The data collected includes climate observations over the period 1981-2020 (rainfall, temperatures, relative humidity, wind, sunshine) and hydrometric readings of the river Zou at the Domè station (1980-2018). Digital terrain models (DEMs) were also used for the topographical analysis. The field equipment included a GPS for recording coordinates, survey questionnaires, a decameter for measuring channels and an infiltrometer for assessing soil permeability (Verlinden & Dembele, 2002).

1.3. Methods

Climate characterization

The analysis of climatic variability is based on the study of rainfall and droughts using the Rainfall Index and the Standardized Precipitation Index (SPI), indicators that make it possible to assess climatic fluctuations at Covè (McKee et al., 1993).

Hydrological analysis

The assessment of the hydrological regime is based on an analysis of the flows of the Zou at Domè over a period of more than 30 years. A frequency analysis was carried out using HYFRAN PLUS software to estimate the flood flows associated with different return periods (Perreault et al., 1999).

Soil characterization

Soil permeability was measured using the Porchet method, which assesses the rate at which water infiltrates the soil. The analysis revealed that the soil was predominantly clay, with low permeability, resulting in inefficient drainage and prolonged retention of floodwater (Anschütz et al., 2004).

Hydraulic operation of irrigated areas

The capacity of drainage channels has been assessed using the Manning-Strickler formula, which calculates the evacuatable flow as a function of channel characteristics and roughness (Roche, 1963). Earthen channels have an average roughness of 35, while concrete channels have a coefficient of 50 (Sic G-eau, 2019). A topographical study was carried out to measure the slope and dimensions of the channels in order to optimize their management (Figure 2).

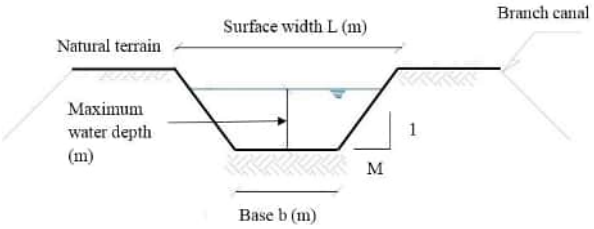


Figure 2. Characteristics of a trapezoidal channel in the perimeter

3. Results

3.1. Climatic characterization of the township of Covè

The commune of Covè has a bimodal rainfall pattern, with peaks in June (207.28 mm) and September (215.06 mm) (Figure 3).

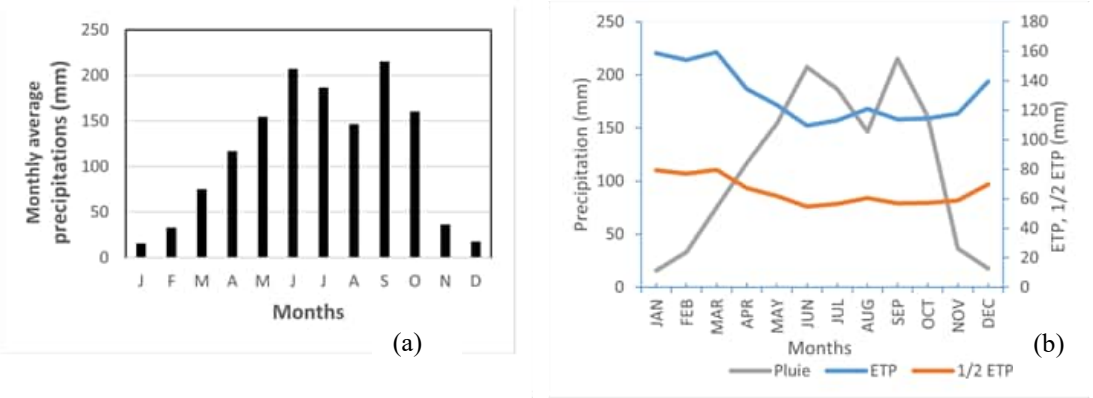


Figure 3. Annual rainfall trends (a) and Monthly rainfall and ETP dynamics with agronomic benchmark of the Covè township (b)

Analysis of the data from 1981 to 2020 shows a 6.57% increase in average annual precipitation (1365.68 mm) and a 1.39% rise in average temperatures (Figure 4).

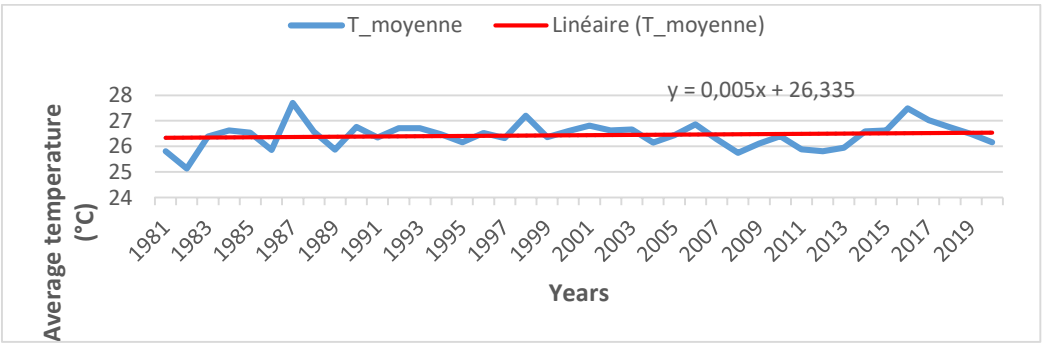


Figure 4. Evolution of annual average temperatures in the Covè township

The Standardized Precipitation Index (SPI) reveals that 40% of years are slightly dry and 30% slightly wet, with an absence of extreme droughts (Tableau 1).

Tableau 1. Classification of drought in relation to the SPI (Vissin et al., 2021)

Categories	SPI Values
Extreme Wetness	≥ 2
Severe Wetness	1,5 à 1,99
Moderate Wetness	1 à 1,49
Mild Wetness	0 à 0,99
Mild Drought	-0,99 à 0
Moderate Drought	-1,49 à -1
Severe Drought	-1,99 à -1,5
Extreme Drought	≤ -2

3.2. Hydrological and hydraulic functioning of the irrigated perimeter of Koussin-Lélé

Analysis of the hydrological regime of the River Zou at the Domè station shows a wide variation in flows, with minimum flows in the dry season (0.73 m³/s in January) and marked floods between June and November (over 145 m³/s in July and September) (Figure 5).

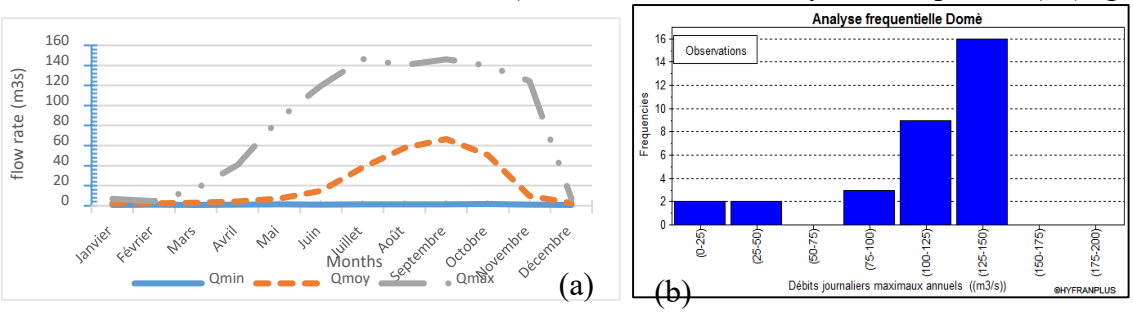


Figure 5. Hydrological regime of the Zou River at the Domè outlet (a) and Histogram of flow rate frequency classes (b)

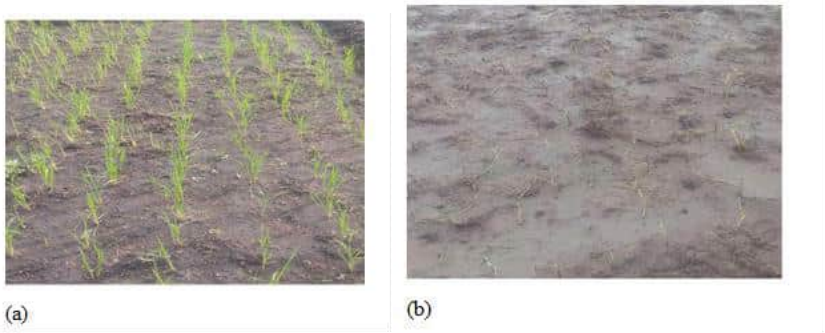
Frequential flow analysis at Domè indicates that biennial, five-year and ten-year floods reach 123 m³/s, 142 m³/s and 148 m³/s respectively. The drainage channels at Koussin-Lélé have a total drainage capacity of 13.87 m³/s, well below the estimated flows for floods with return periods of 2 years (24.6 m³/s), 5 years (28.4 m³/s) and 10 years (29.6 m³/s). This inadequacy leads to systematic flooding from June to September.

3.3. Soil characteristics and permeability

The soil survey revealed very low permeability over most of the perimeter, with values ranging from 0.58 to 35.24 mm/h, which favors water stagnation and limits natural infiltration. This low infiltration capacity, combined with inadequate drainage, increases the risk of prolonged flooding.

3.4. Impacts of climate variability on the irrigated perimeters of Koussin-Lélé

Frequent flooding causes soil erosion, siltation of canals, destruction of levees and crops, and a delay in the agricultural calendar. In the 2019-2020 season, production losses have been estimated at 50 tonnes of rice. However, these floods also bring in alluvial deposits that enhance soil fertility (Figure 6). Drought, although less of a concern, leads to lower water levels in the canals and degradation of infrastructure due to alternating periods of flooding and drying out.



Source: Bossa, 2022

Figure 6. Young rice plants before (a) and after (b) flood

3.5. Proposed solutions

Faced with these challenges, two main solutions are envisaged:

Revision of the agricultural calendar: It is proposed to adapt crop cycles to avoid the June to September flooding period. An alternative calendar provides for two cropping seasons: from mid-September to February (off-season rice) and from February to mid-June (rainy season rice) (Figure 7).

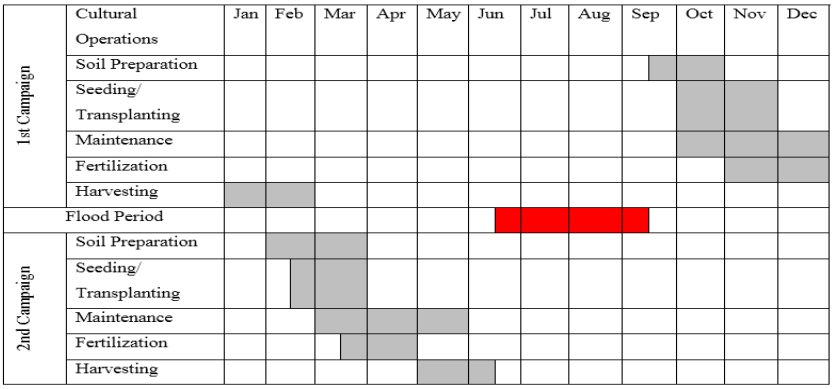


Figure 7. Agricultural calendar

Improved drainage capacity: Increasing the channel cross-section by 0.30 m would increase drainage capacity to 33.13 m³/s, sufficient to drain flood flows with a 10-year return period (Table 2). Control gates are also proposed to better control water flows.

Tableau 2. Simulation of canal parameters

	Tronçons	T1	T2	T3	T4	T5	T6_tt	T6_bt	T6_bc	Total
Rate flows (m^3/s)	+0.10 m	1.82	2.53	0.94	2.30	3.05	2.15	3.19	3.23	19.22
	+0.20 m	2.43	3.34	1.34	2.94	3.99	2.87	4.36	4.35	25.61
	+0.30 m	**3.13**	**4.29**	**1.81**	**3.68**	**5.07**	**3.72**	**5.76**	**5.67**	**33.13**
	+0.40 m	3.92	5.38	2.38	4.52	6.32	4.69	7.41	7.23	41.84
	+0.50 m	4.82	6.62	3.04	5.46	7.73	5.81	9.31	9.02	51.80
	+1 m	10.95	15.36	7.91	12.00	17.57	13.74	23.16	49.15	149.84

Discussion

The results clearly highlight the vulnerability of the Koussin-Lélé irrigated perimeters to the effects of climate variability. The observed increase in rainfall and temperature over the past

four decades confirms regional trends reported by other studies (Ozer et al., 2010). However, despite this apparent increase in water availability, the infrastructure in place, particularly the drainage canals, proves inadequate to cope with flood flows corresponding to even moderate return periods (2 to 10 years). This structural deficit, compounded by the low permeability of soils (Anschütz *et al.,* 2004), leads to prolonged water stagnation, damaging crops and infrastructure. These findings support the idea that past design standards for hydro-agricultural systems are no longer adapted to the current climatic context (Aubert Michaud et al., 2012). Furthermore, while floods negatively affect agricultural productivity, their potential benefits such as sediment deposition and weed control suggest that integrated water management approaches could be explored rather than viewing floods solely as a hazard. In this context, the dual solution proposed (adjusted agricultural calendar and improved drainage) appears both pragmatic and necessary to sustain productivity and resilience in the face of increasing climate extremes.

Conclusion

The 6.57% increase in precipitation and 1.39% rise in temperature at Covè have increased the frequency and intensity of flooding on the Zou, reaching 154 m³/s for a return period of 100 years. With drainage channels inadequate, the Koussin-Lélé perimeter suffers recurrent flooding, leading to agricultural losses, soil erosion and infrastructure damage.

To limit these impacts, two solutions are proposed: adapting the agricultural calendar to avoid the flooding period, and improving the capacity of the drainage canals. These measures are essential to reinforce the perimeter's resilience and guarantee the sustainability of hydro-agricultural developments in the face of climatic variations.

Bibliography

ANSCHÜTZ J., KOME A., NEDERLOF M., Rob de Neef., Ton van de Ven., 2004, Water collection and soil moisture retention, Agromisa Foundation, Wageningen, 16p.

Ozer P., Afouda A., Hountondji Y.-C., Ahlonsou E., Houanye A., Ahomadegbe M., De Longueville F., 2010: Effects of global warming on climatic and hydrological variables in Benin: Analysis of the year 2010 compared to historical data, In: HDL.HANDLE.NET/2268/80202, H., ed. International Conference: Extreme Rainfall Events in West Africa and their Impacts on Vulnerable Populations in a Context of Climate Variability., 2010.

Totin V. S. H., 2012: *Analysis of the existing alert system and vigilance products in the face of climate risks in Sub-Saharan Africa*, p.221.

Verlinden E. and Dembele Y., 2002: Development of Lowland Areas in the Sudanian Zone of Burkina Faso: Diagnostics and Perspectives. *Proceedings of the 2nd Inter-Regional Conference on Environment and Water, Ouagadougou*.

Michaud A., Drouin A., Mailhot A., Talbot G., Huard D., Biner S., Bondlot A., Lagace R., Nestor-Raul R., 2012: Designing Hydro-Agricultural Structures in the Context of Climate Change, *Symposium in Agroclimatology*.

SDAGE, 2013: *Master Plan for the Development and Management of Water in the Ouémé Basin*, p.194.

Mckee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1993: *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, In: McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (eds), Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 179-184, 17-22 January 1993, Anaheim, Calif., Boston, Mass., American Meteorological Society.

Perreault, L., Parent, É., Bernier, J., Bobée, B., & Rasmussen, P., 1999: *Bayesian change-point analysis in hydrometeorological time series*. Journal of Climate, **12**(11), 3554–3565. https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<3554:BCPAIH>2.0.CO;2

ROCHE, M., 1963, Surface hydrology, ed. Gauthier-Villards, France, 155-172p.

Sic G-eau, 2019, Definition of Manning-Strickler coefficients [online]. Available from: https://sic.g-eau.net/definition-des-coefficients-de?lang=en

ASSURANCE CLIMATIQUE ET PRODUCTION AGRICOLE AU BENIN : PERSPECTIVES ET DEFIS

Ayédêguê Biaou Philippe CHABI [1, 2 et 4], Abraham AMOUSSOUGA GERO [1 et 2], N. Emile HOUNGBO [1 et 2], Cyr Gervais ETENE [3 et 4], Ibouraïma YABI [3 et 4], Expédit Wilfried VISSIN[3 et 4] et Euloge OGOUWALE [3 et 4] et Pascal SAGNA[5]

1-Ecole d'Agrobusiness et de Politiques Agricoles (EAPA), Université Nationale d'Agriculture (UNA); philippe_chabi@yahoo.fr
2-Laboratoire d'Economie Rurale et Sciences Sociales pour le Développement Durable (LERSSoDD), Université Nationale d'Agriculture
3-Département de Géographie et Aménagement du Territoire
4-Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Écosystème et Développement » (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (UAC)
5- Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop

Résumé : *L'assurance climatique et production agricole au Bénin représente une solution cruciale pour protéger les agriculteurs des aléas climatiques croissants tels que les sécheresses et les inondations, qui menacent la sécurité alimentaire et la stabilité économique. Cette recherche explore le contexte climatique et agricole du Bénin, mettant en lumière l'importance de l'agriculture dans l'économie nationale et les défis posés par les variations climatiques. L'assurance climatique et agricole se divise en deux types: l'assurance paramétrique (basée sur des indices climatiques) et l'assurance indemnitaire (basée sur les pertes réelles). Son adoption par les agriculteurs béninois est limitée en raison de coûts élevés et d'un manque de sensibilisation. Les innovations technologiques, telles que les satellites et les applications mobiles, offrent des perspectives prometteuses, soutenues par des politiques gouvernementales favorables. Cependant, des défis techniques et institutionnels demeurent. Pour améliorer l'adoption, il est essentiel de sensibiliser les agriculteurs, de renforcer les capacités institutionnelles et de promouvoir la recherche. L'assurance est cruciale pour renforcer la résilience des agriculteurs et garantir la sécurité alimentaire au Bénin.*

Mots clés : *Bénin, agricole, assurance climatique, défis, perspectives.*

Abstract : Climate insurance and agricultural production in Benin: prospects and challenges*. Climate insurance and agricultural production in Benin represent a crucial solution to protect farmers from increasing climatic hazards such as droughts and floods, which threaten food security and economic stability. This research explores the climatic and agricultural context of Benin, highlighting the importance of agriculture in the national economy and the challenges posed by climate variations. Climate and agricultural insurance is mainly divided into two types: parametric insurance (based on climatic indices) and indemnity insurance (based on actual losses). Its adoption by Beninese farmers is limited due to high costs and a lack of awareness. Technological innovations, such as satellites and mobile applications, offer promising prospects, supported by favorable government policies. However, technical and institutional challenges remain. To improve adoption, it is essential to raise farmers' awareness, strengthen institutional capacities, and promote research. Insurance is crucial to enhance the resilience of farmers and ensure food security in Benin.*

Key-words *: Benin, agriculture, climate insurance, challenges, prospects.*

Introduction

L'agriculture joue un rôle central dans l'économie béninoise, contribuant à environ 30 % du produit intérieur brut (PIB) et fournissant des emplois à près de 70 % de la population active, surtout dans les zones rurales. Cette forte dépendance à l'égard du secteur agricole met en évidence la nécessité d'une agriculture solide et résiliente. Cependant, le Bénin est confronté à de nombreux défis environnementaux, notamment les effets des changements climatiques, qui perturbent les écosystèmes agricoles et menacent la sécurité alimentaire. Les variations climatiques, telles que les sécheresses prolongées, les inondations et les modifications des régimes de précipitations, entraînent des pertes de rendement significatives et affectent la capacité des agriculteurs à subvenir aux besoins de leurs familles (Boko *et al.,* 2007 ; Gbetibouo, 2009).

Dans ce contexte, l'assurance climatique émerge comme une solution potentielle pour protéger les agriculteurs contre les risques liés aux aléas climatiques. Ce type d'assurance vise à offrir une protection financière aux exploitants agricoles en cas de pertes de récolte dues à des événements climatiques extrêmes. En garantissant une compensation en cas de sinistre, l'assurance climatique peut contribuer à stabiliser les revenus des agriculteurs, leur permettant ainsi de mieux planifier et de diversifier leurs activités (Ali, 2010 ; Wethe, 2009).

L'importance de l'assurance climatique ne se limite pas à la simple compensation financière. Elle joue également un rôle crucial dans la promotion de pratiques agricoles durables et l'encouragement de l'innovation. L'assurance incite les agriculteurs à investir dans des technologies modernes et des pratiques agricoles résilientes, telles que l'utilisation de semences résistantes à la sécheresse ou l'adoption de techniques d'irrigation efficaces réduisant l'incertitude liée aux risques climatiques (Mertz *et al.,* 2009). Ainsi, l'assurance climatique peut devenir un levier pour transformer l'agriculture béninoise en un secteur plus compétitif et durable.

Cependant, la mise en œuvre de mécanismes d'assurance climatique au Bénin n'est pas sans défis. Parmi les obstacles majeurs figurent le manque de données climatiques précises et accessibles, qui compliquent l'évaluation des risques pour les assureurs et les agriculteurs (Bridge, 2012). De plus, les coûts potentiels des primes d'assurance peuvent constituer un fardeau financier pour de nombreux petits exploitants, qui disposent déjà de ressources limitées (Gnanglé *et al.,* 2011). La sensibilisation et l'éducation des agriculteurs sur les produits d'assurance disponibles sont également des éléments essentiels pour encourager leur adoption (Dugué *et al.,* 2012).

Il faut noter que l'assurance climatique représente une avenue prometteuse pour renforcer la résilience de l'agriculture au Bénin face aux défis climatiques croissants. Cet article se propose d'explorer en profondeur les perspectives et les défis associés à l'implémentation de l'assurance climatique dans le pays, en examinant comment ces mécanismes peuvent contribuer à assurer la sécurité alimentaire et à promouvoir un développement agricole durable. En abordant ces thématiques, nous espérons fournir des recommandations visant à favoriser un environnement propice à la mise en place de solutions d'assurance adaptées aux besoins des agriculteurs béninois.

1. Site de recherche et approche méthodologique

1.1. Enquêtes auprès d'acteurs du monde agricole au Bénin

Pour analyser l'impact de l'assurance climatique sur la production agricole au Bénin, les défis et les perspectives, une approche combinant des méthodes qualitatives et quantitatives a été appliquée basées sur des enquêtes auprès d'acteurs du monde agricole du pays répartis dans les trois régions climatiques contrastées du Bénin (Tableau 1 et Figure 1).

Les enquêtes ont été menées auprès de 150 agriculteurs, 70 coopératives agricoles, 20 experts climatologues et 27 responsables de programme agricoles pour recueillir des données primaires sur trois rubriques principales :

- la connaissance et l'adoption de l'assurance climatique.
- les perceptions des agriculteurs concernant les risques climatiques et l'impact potentiel de l'assurance.
- les défis rencontrés dans l'accès et l'utilisation des produits d'assurance.

Des questionnaires ont été utilisés pour recueillir des informations quantitatives et qualitatives et permettre des discussions approfondies sur les expériences des agriculteurs avec l'assurance climatique.

Tableau I : Répartition des personnes enquêtées

Région	**Catégorie**	**Taille de l'échantillon**	**Méthode d'enquête**
Nord-Bénin	Agriculteurs individuels	60	Enquêtes face à face
	Coopératives agricoles	30	Enquêtes semi-structurées
	Experts en climatologie	10	Enquêtes par questionnaire en ligne
	Responsables de programmes agricoles	9	Enquêtes téléphoniques
Centre-Bénin	Agriculteurs individuels	40	Enquêtes face à face
	Coopératives agricoles	20	Enquêtes semi-structurées
	Experts en climatologie	5	Enquêtes par questionnaire en ligne
	Responsables de programmes agricoles	9	Enquêtes téléphoniques
Sud-Bénin	Agriculteurs individuels	50	Enquêtes face à face
	Coopératives agricoles	20	Enquêtes semi-structurées
	Experts en climatologie	5	Enquêtes par questionnaire en ligne
	Responsables de programmes agricoles	9	Enquêtes téléphoniques
Total		277	

Le Bénin est divisé en trois grandes régions climatiques, chacune présentant des variations significatives en termes de précipitations, de températures et de saisons des pluies, ce qui impacte les écosystèmes et l'agriculture.

Dans le Sud, le climat guinéen se caractérise par une pluviométrie annuelle de 1200 à 1400 mm, avec deux saisons des pluies : une principale d'avril à juillet et une seconde plus courte de septembre à novembre. Cependant, un raccourcissement de ces périodes pluvieuses est observé, entraînant des irrégularités qui perturbent les cycles agricoles.

La région Centre, en transition entre le Sud et le Nord, reçoit entre 900 et 1100 mm de pluie par an. Sa saison des pluies, plus courte (mai à septembre), subit également un raccourcissement et une diminution de l'intensité des précipitations, augmentant la vulnérabilité des systèmes agricoles.

Enfin, le Nord, avec un climat soudano-sahélien, connaît la pluviométrie la plus faible (700 à 900 mm) et une saison des pluies courte (juin à septembre). Les effets du changement climatique y sont accentués, avec un raccourcissement marqué des pluies, ce qui met en péril les ressources en eau et la sécurité alimentaire.

En résumé, le Bénin présente une gradation climatique du Sud vers le Nord, avec une baisse de la pluviométrie et un raccourcissement des saisons des pluies, entraînant des défis pour les écosystèmes et l'agriculture. L'adoption de stratégies d'assurance climatique est essentielle pour faire face à ces variations.

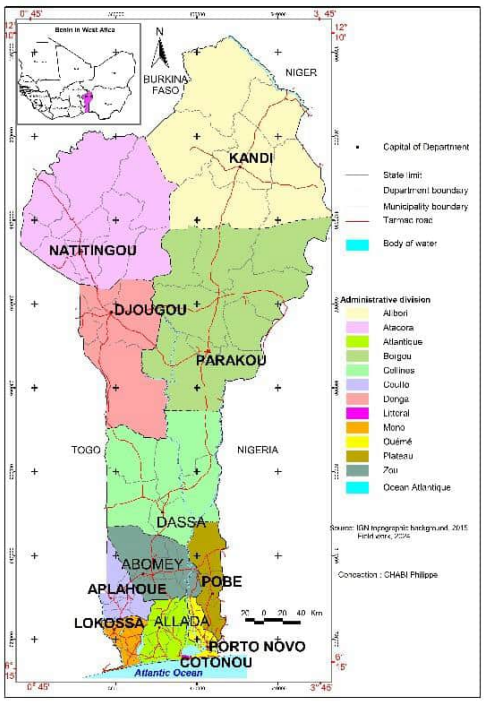


Figure 1. Situation géographique du milieu de recherche

1.2.2. Analyse des données issues des enquêtes terrain

Les données ont été analysées par des méthodes statistiques et qualitatives : une analyse quantitative avec des logiciels comme SPSS pour identifier les corrélations entre l'assurance climatique et les rendements agricoles, et une analyse qualitative thématique pour dégager des tendances dans les perceptions des agriculteurs.

2-Résultats

Les résultats de l'étude sur l'assurance climatique et la production agricole au Bénin révèlent plusieurs tendances significatives et implications pour le secteur agricole.

2.1. Niveau de connaissance et d'adoption de l'assurance climatique

La figure 2 illustre l'adoption et perception de l'assurance climatique chez les agriculteurs.

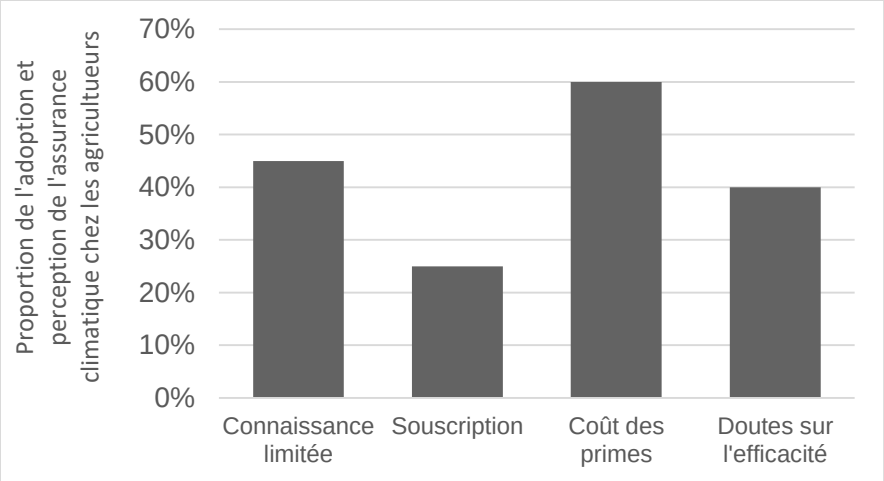


Figure 2 : Proportion de l'adoption et perception de l'assurance climatique chez les agriculteurs

De l'observation de la figure 2, il ressort que 45 % des agriculteurs interrogés ont déclaré avoir une connaissance limitée des produits d'assurance climatique disponibles. Cette ignorance

est particulièrement prononcée parmi les petits exploitants avec un superficie de deux hectares, souvent en raison d'un manque d'information et d'accès aux ressources. Tandis que 25 % des agriculteurs ont souscrit une forme d'assurance climatique. Les principales raisons de cette faible adoption incluent le coût des primes (60 % des répondants), ainsi que des doutes sur l'efficacité des produits d'assurance (40 %). Il est possible de se demander, les perceptions des risques climatiques.

2.2. Perceptions des risques climatiques

Les résultats issus des enquêtes ont montré que 70 % des agriculteurs estiment que les variations climatiques ont un impact direct sur leur sécurité alimentaire, avec des événements climatiques extrêmes (comme les sécheresses et les inondations) cités comme les principales menaces.

Quant à la vulnérabilité accrue, les agriculteurs qui n'ont pas d'assurance climatique se déclarent plus vulnérables aux chocs climatiques, avec une diminution moyenne de 30 % des rendements en cas de conditions climatiques extrêmes.

2.3. Impact de l'assurance climatique sur les pratiques agricoles

Les investigations sur le terrain ont montré que les agriculteurs ayant souscrit une assurance climatique sont 40 % plus susceptibles d'adopter des pratiques agricoles résilientes, telles que la rotation des cultures et l'utilisation de semences améliorées. Quant aux **investissements accrus,** les détenteurs d'assurance sont également plus enclins à investir dans des infrastructures, comme des systèmes d'irrigation, avec une augmentation de 35 % des investissements observée par rapport à ceux sans assurance.

3. Rôle des institutions et de la sensibilisation

Les résultats montrent que les programmes de sensibilisation et d'éducation augmentent l'adoption de l'assurance climatique. Environ 50 % des agriculteurs ayant participé à des ateliers d'information ont déclaré avoir souscrit une assurance par la suite. Il faut signaler que les initiatives impliquant des partenariats entre les gouvernements, les ONG et les compagnies d'assurance se sont révélées plus efficaces, avec une augmentation de 20 % de l'adoption des produits d'assurance dans les zones ciblées par ces programmes. Il est important de présenter les perspectives et les défis de l'assurance climatique au Bénin.

4.Perspectives et défis de l'assurance climatique au Bénin

L'assurance climatique au Bénin constitue une réponse stratégique aux risques liés aux aléas climatiques qui affectent les agriculteurs et les acteurs économiques vulnérables. Entre opportunités de renforcement de la résilience et défis d'accessibilité, de sensibilisation et de viabilité financière, son développement reste un enjeu majeur pour une agriculture durable et une gestion efficace des catastrophes naturelles.

4.1. Perspectives

L'assurance climatique est essentielle pour renforcer la résilience des agriculteurs face aux impacts climatiques en offrant une protection financière et en favorisant des pratiques agricoles durables. Il est crucial de développer des produits d'assurance adaptés aux besoins des agriculteurs, comme des assurances indexées sur des indicateurs climatiques, et de promouvoir des partenariats entre le gouvernement, les ONG et le secteur privé pour faciliter leur mise en œuvre. Des programmes de sensibilisation et d'éducation ciblés peuvent également accroître la compréhension et l'adoption de ces produits, contribuant ainsi à une transformation positive du secteur agricole.

4.2. Défis

S'agissant des coûts des primes d'assurance, le coût des primes demeure un obstacle majeur à l'adoption de l'assurance climatique, en particulier pour les petits exploitants qui ont des ressources limitées. La création de modèles de primes abordables est essentielle.

Quant au manque de données climatiques fiables, l'absence de données climatiques précises et accessibles complique l'évaluation des risques et la conception de produits d'assurance adaptés, limitant ainsi l'efficacité des mécanismes d'assurance.

Il faut signaler une sensibilisation insuffisante, autrement dit, la connaissance limitée des produits d'assurance et de leurs avantages parmi les agriculteurs constitue un défi important. Sans information adéquate, l'adoption reste faible. Il est important de noter la réglementation et le cadre institutionnel, l'absence d'un cadre réglementaire clair et cohérent pour l'assurance climatique peut freiner l'initiative des compagnies d'assurance et des agriculteurs, rendant le marché peu attractif. Enfin, la variabilité des conditions climatiques qui fait que les changements climatiques rendent difficile la prévision des événements extrêmes, ce qui complique la tarification et la gestion des risques pour les assureurs, augmentant ainsi l'incertitude du marché.

Conclusion

Ces résultats mettent en lumière les défis et les opportunités liés à l'assurance climatique au Bénin. Ils soulignent l'importance d'une approche intégrée qui combine sensibilisation, soutien institutionnel et développement de produits d'assurance adaptés pour renforcer la résilience des agriculteurs face aux impacts des changements climatiques. Les perspectives offertes par l'assurance climatique au Bénin sont prometteuses, mais elles doivent être abordées avec une compréhension claire des défis existants. Un effort concerté entre les divers acteurs du secteur agricole, le gouvernement et les institutions financières est crucial pour surmonter ces obstacles et maximiser l'impact positif de l'assurance climatique sur la résilience des agriculteurs.

Bibliographie

Ali, A. (2010). Index-based insurance as a tool for managing agricultural risks in developing countries. *Journal of Risk Finance, 11*(4), 341-358.

Boko, M., Niang, I., Nyong, A., Vogel, C., Githeko, A. K., Medany, M., … & Yanda, P. (2007). *Africa.* In Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 433-467). Cambridge University Press.

Bridge, G. (2012). Index-based insurance and its role in managing climate risk: Evidence from Africa. *Climate Risk Management, 1*(1), 15-27.

Dugué, J., Kaboré, B., & N'Guessan, A. (2012). Enhancing agricultural resilience through climate insurance: A study in West Africa. *Agricultural Economics, 43*(3), 213-228.

Gbetibouo, G. A. (2009). Climate variability and change in West Africa: The challenges for adaptation. *WMO Bulletin, 58*(1), 23-29.

Gnanglé, T., Coulibaly, M., & Ouedraogo, S. (2011). The viability of index insurance for smallholder farmers in West Africa: Lessons from Burkina Faso. *Journal of Development Studies, 47*(10), 1511-1530.

Mertz, O., Oteng, A., & Ndiaye, P. (2009). Impacts of climate change on agricultural productivity in West Africa. *Environmental Research Letters, 4*(1), 014009.

Wethe, M. (2009). Agricultural insurance in Africa: Assessing the challenges and potential. *International Journal of Agricultural Management, 5*(2), 112-126.

VARIABILITE PLUVIOMÉTRIQUE ET PALUDISME DANS LA SOUS-PRÉFECTURE DE LATAHA AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE

Moussa COULIBALY, Nafolo Drissa YEO, Henri Joël KOUADIO,

Département de Géographie, Université Peleforo GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire, Coulsiby2015@gmail.com ; yeonafolo@gmail.com ; Kouadiohenri85@gmail.com ;

Résumé : *Le paludisme est une maladie hydrique, transmise par l'anophèle qui vit et se développe dans les milieux d'eau, surtout stagnantes. Elle est fortement influencée par les fluctuations de températures et de précipitations. Dans un contexte de changement climatique, il est donc crucial d'analyser les éventuelles relations entre la variation pluviométrique et la prolifération du paludisme. Cette étude a pour objectif de montrer le lien entre la variabilité pluviométrique et l'émergence du paludisme dans la sous-préfecture de Lataha. La méthodologie adoptée est fondée sur la recherche documentaire, des enquêtes de terrain et un dépouillement manuel des registres de consultation dans les différents centres de santé de la sous-préfecture. Les résultats obtenus montrent que la sous-préfecture a un régime pluviométrique monomodal. La saison pluvieuse reste par excellence, le moment propice à la diffusion du paludisme (773 cas au mois de Juillet). Le paludisme simple (98,58%) est le type de paludisme le plus fréquent avec une forte exposition des enfants de moins de10 ans (50,49%). La variabilité pluviométrique a un lien avec l'évolution des cas de paludisme dans cette sous-préfecture.*

Mots clés : *Côte d'Ivoire, Lataha, variabilité pluviométrique, paludisme*

Abstract: Rainfall variability and malaria in the sub-prefecture of Lataha in the north of Côte D'Ivoire. *Malaria is a water-borne disease, transmitted by the Anopheles mosquito, which lives and develops in water, especially stagnant water. It is strongly influenced by fluctuations in temperature and rainfall. In a context of climate change, it is therefore crucial to analyse the possible relationships between rainfall variation and malaria proliferation. The aim of this study is to show the link between rainfall variability and the emergence of malaria in the sub-prefecture of Lataha. The methodology adopted is based on documentary research, field surveys and manual scrutiny of consultation registers in the various health centres in the sub-prefecture. The results show that the sub-prefecture has a monomodal rainfall pattern. The rainy season is the ideal time for the spread of malaria (773 cases in July). Simple malaria (98.58%) is the most frequent type of malaria, with children under 10 years of age (50.49%) being most exposed. Rainfall variability is linked to the evolution of malaria cases in this sub-prefecture.*

Key words*: Côte d'Ivoire, Lataha, rainfall variability, malaria*

Introduction

Le paludisme constitue un véritable problème de santé publique en Afrique subsaharienne (UNICEF, 2013, p. 2). En effet, l'Afrique subsaharienne est la partie de la planète la plus durement touchée avec 92% de cas de paludisme et 93% des décès sont dus à cette maladie (TOU G. G. et *al*., 2022, p. 49). Les enfants de moins de cinq ans constituent le groupe le plus exposé à la mortalité palustre avec 266 000 décès en 2017, soit 61% de l'ensemble des décès par paludisme (OMS, 2017).

Depuis 1960, les variabilités climatiques se manifestent par une légère augmentation des températures ainsi que des perturbations des précipitations (CISSE M. O. *et al.*, 2021 p. 1). En fait, les changements climatiques ont déjà des effets négatifs observables sur la santé et le bien-être humains (OMS, 2023). D'ailleurs, les facteurs climatiques (précipitations, températures, humidité, etc.) jouent un rôle déterminant dans la transmission et la distribution du paludisme (GOUATAINE S. R. et YMBA M., 2019 p. 144).

En Côte d'Ivoire, le paludisme reste un problème de santé publique et de développement. Il constitue la première cause de consultation dans les formations sanitaires avec 41% des motifs de consultation (PNDS, 2021 : 29). Sa propagation est due à l'insalubrité du cadre de vie des populations (DIOBO K. S. D. et TAPÉ S. P., 2018, p. 15) et aux variations de températures et de pluviométrie (EXPERTISE FRANCE, 223, p. 1). Les questions sanitaires en milieu rural sont une préoccupation importante pour bon nombre de pays, notamment les pays en voie de développement (MBANI C. E. et NDZANI F., 2023, p. 115).

Dans la sous-préfecture de Lataha au nord de la Côte d'Ivoire, l'analyse du lien entre la variabilité pluviométrique et l'émergence du paludisme devient crucial dans ce contexte de dérèglement climatique.

1- Outils et Méthodes

1.1- Présentation de la sous-préfecture de Boundiali

La sous-préfecture de Lataha est située au Nord de la Côte d'Ivoire dans le département de Korhogo entre les coordonnées géographiques 9°34'0.82" de latitude Nord et 5°35'24.28" de longitude Ouest. Elle se délimite au Nord par les sous-préfectures de Diawala et Ferkessedougou, au Sud par les sous-préfectures de Korhogo, Koni et Karakoro. Elle est également limitée à l'Est et à l'Ouest respectivement par les sous-préfectures de Sinematiali et Sohouo (Cf. Figure 1).

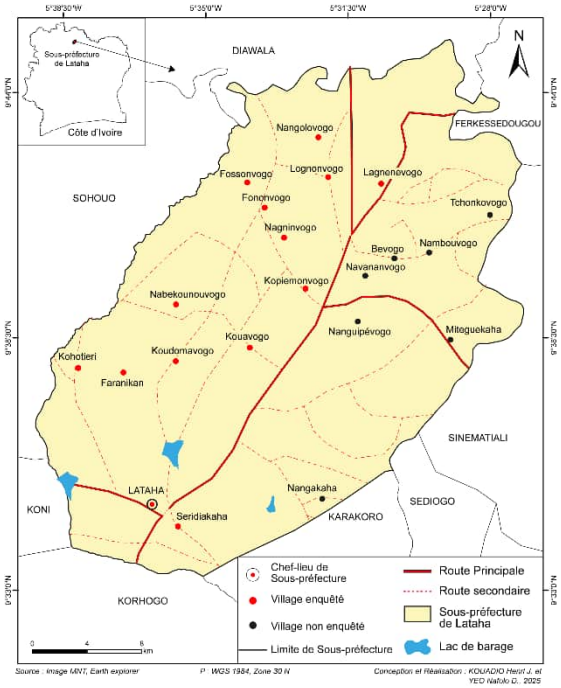


Figure 1. Localisation de la sous-préfecture de Lataha

Cette localité enregistre une population de 26896 habitants (RGPH, 2021). Elle est marquée par la présence de trois barrages. Ces barrages dont les crues surviennent en saison pluvieuse représentent des lieux de reproduction des moustiques, vecteurs du paludisme.

1.2- Techniques de collecte et traitement de données

Pour cette étude, plusieurs techniques ont été utilisées pour la collecte des données. D'abord, la recherche documentaire a permis de faire le point sur les études antérieures qui ont abordé la question des variabilités pluviométriques et l'émergence du paludisme. Cette fouille documentaire a permis de connaitre le rôle des paramètres climatiques dans la prolifération du paludisme de façon général mais aussi sur les personnes les plus vulnérables. Ensuite, l'enquête de terrain a pris en compte l'observation directe sur le terrain, des entretiens avec les responsables sanitaires et une enquête par questionnaire. Ces dernières ont permis d'apprécier le cadre de vie des populations tout en répertoriant les zones à risques du paludisme, de prendre des photos et d'enquêter 393 chefs de ménage dans 14 villages de la sous-préfecture de Lataha. Les entretiens se sont faits dans les différents centres de santé de la sous-préfecture. Ils ont permis d'avoir accès aux registres de consultation curatives et d'y collecter les informations

nécessaires. Enfin, des données climatiques de 2018 à 2022 ont été traitées afin de connaitre le régime pluviométrique de la station de Lataha. L'enquête s'est déroulée en Mars 2025.

Les données collectées ont subi un traitement manuel et statistique. Les logiciels Excel, ArcGis 10.3 et Adobe Illustrator 2023 ont été respectivement utilisé pour le traitement statistique des données et la réalisation des différentes cartes.

2- Résultats

Les résultats portent sur les paramètres climatiques de la sous-préfecture de Lataha, sur le type de paludisme le plus rencontré et sur les personnes les plus vulnérables. Aussi, portent-ils sur la corrélation entre la pluviométrie et l'émergence du paludisme.

2.1- Régime pluviométrique favorable à la reproduction des moustiques, vecteur du paludisme

La sous-préfecture de Lataha appartient au climat soudanais, chaud et sec. Elle est caractérisée par un régime pluviométrique monomodal (Cf. Figure 2).

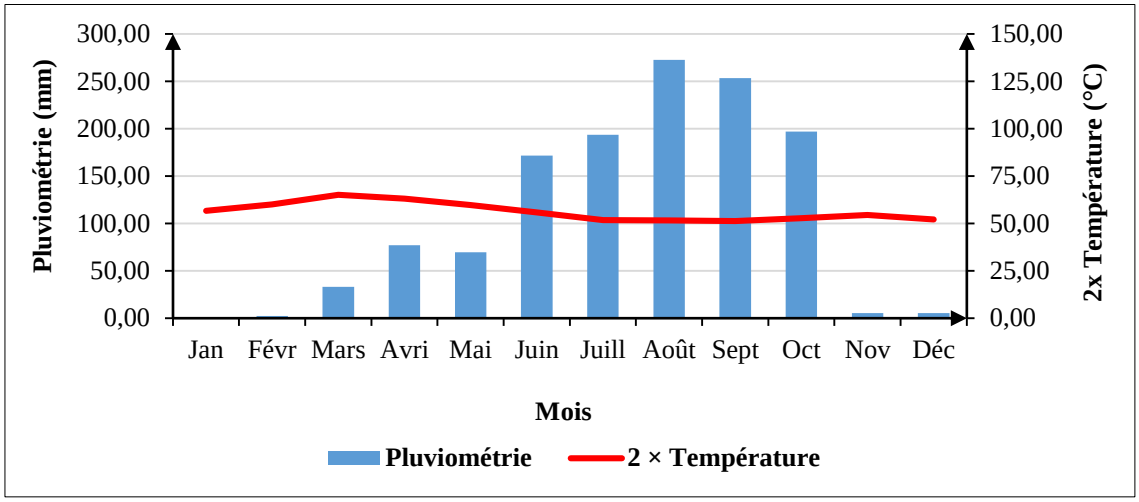


Figure 2. Diagramme ombrothermique de la station de la sous-préfecture de Lataha en 2024

Source : *SODEXAM, 2024*

L'analyse de la figure 2 révèle une saison sèche de sept mois (Janvier, Février, mars, Avril, Mais, Novembre et Décembre) et une saison pluvieuse qui dure cinq mois (Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre). Les précipitations varient de 0,60 à environ 272 mm d'eau, avec une pluviométrie moyenne de 106,71 mm d'eau. Les mois de Janvier, Février Novembre et Décembre sont les mois les plus secs, tandis que le mois d'Août est le mois qui enregistre la plus forte quantité de pluie, soit 272,60 mm. Ces fortes pluies et leur corolaire les points d'eaux usées, constituent des lieux de refuge et de multiplication des moustiques.

2.2- Paludisme simple, principale maladie observée chez les ménages de la sous-préfecture de Lataha

Divers types de paludisme sont observés chez les populations de Lataha. Il s'agit du paludisme grave, paludisme grave et anémie, paludisme simple et paludisme simple avec anémie (Cf. Tableau 1).

Tableau 1. Types de paludisme rencontrés par les populations de la sous-préfecture de Lataha

Types de paludisme	Effectifs	Fréquence (%)
Paludisme grave	12	0,28
Paludisme grave avec anémie	6	0,14

Source : Dépouillement des registres de consultation curative, Février 2025

Paludisme simple	4178	98,58
Paludisme simple avec anémie	48	1,13
Total	**4244**	**100,00**

Sur les 4238 cas de paludisme rencontrés, le paludisme simple est le type de paludisme le plus encourue. Il représente 4178 cas, soit 98,58% de l'ensemble. Il est suivi du paludisme simple avec anémie (1,13%). Les cas de paludisme grave et de paludisme grave avec anémie sont rarement rencontrés par les ménages. Ils représentent respectivement 0,28% et 0,14% des cas de maladie.

2.3- Enfants de moins de 10 ans, les individus les plus sensibles au paludisme à Lataha

Le paludisme est une maladie qui sévit dans la sous-préfecture de Lataha. Il touche aussi bien les enfants, les adolescents que vieilles personnes (Cf. Figure 3).

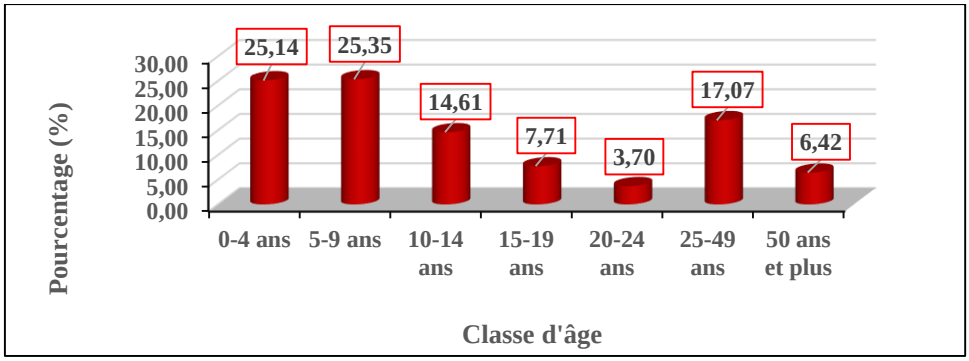


Figure 3. Répartition des cas de paludisme selon les classes d'âge

Source : *Dépouillement des registres de consultation curative, Février 2025*

Les enfants de moins de 10 ans sont les populations les plus exposées à la pathologie palustre dans la sous-préfecture de Lataha. La classe d'âge comprise entre 0 et 4 ans et celle dont l'âge part de 5 à 9 ans ont respectivement enregistré 1053 et 1062 cas de paludisme, ce qui correspond à 25,14% et 25,35%. Les personnes les moins sensibles sont celle qui ont âge compris entre 20 et 24 ans (03,70%).

2.4- Saison pluvieuse, période marquée par l'augmentation des cas de paludisme à Lataha

Le nombre de cas de paludisme dans la sous-préfecture de Lataha varie d'un mois à un autre (Cf. Figure 4).

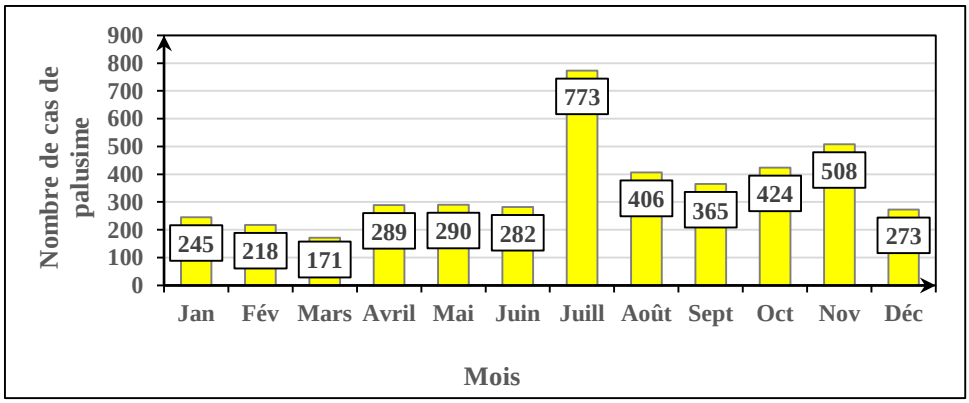


Figure 4. Distribution mensuelle des cas de paludisme dans la sous-préfecture de Lataha en 2024

Source : *Dépouillement des registres de consultation curative, Février 2025*

De janvier à Mars 2024, le nombre de cas de paludisme rencontré a connu une baisse, passant de 245 à 171 cas. A partir du mois d'Avril, le nombre de cas de maladie connait une tendance à

la hausse et passe de 289 cas en Avril pour atteindre le pic en Juillet avec 773 cas de paludisme diagnostiqué dans l'ensemble de la sous-préfecture de Lataha. Cette période marque la saison des pluies. Mais, d'Août à Décembre, les effectifs mensuels des cas de paludisme évoluent en dent de scie. Ils évoluent de 406 cas en Août pour atteindre 273 cas en Décembre en passant par 508 cas en Novembre. Cette nouvelle tendance s'explique par la baisse des précipitations et de la température. Les précipitations créent des points d'eaux usées pluviales et par ricochet, des lieux de reproduction et de développement des moustiques, vecteurs du paludisme (Planche photographique).

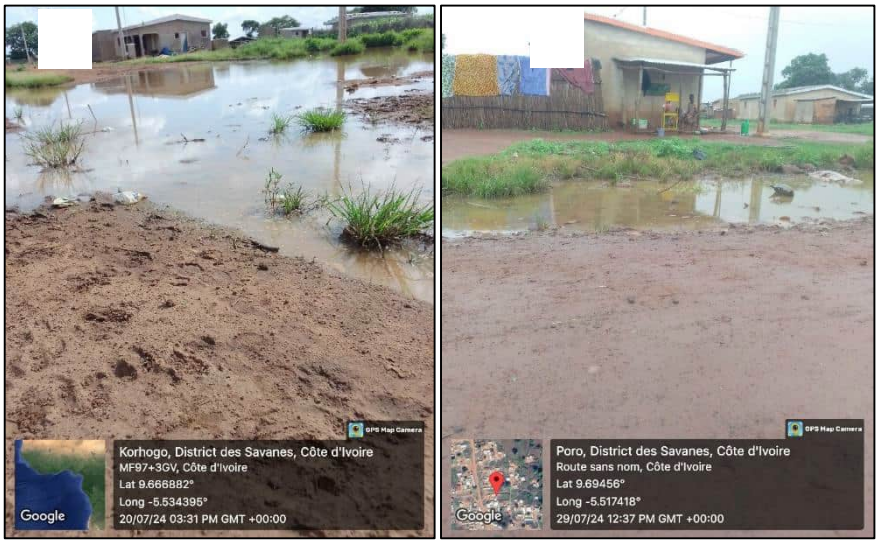


Planche photographique : Points d'eaux usées à proximité des ménages à Lagnenevogo et à Fononvogo dans la sous-préfecture de Lataha

La planche photographique présente des flaques d'eaux usées pluviales aux alentours des habitations. Ces flaques d'eaux deviennent des lieux de reproduction et de développement des moustiques, responsables de l'augmentation des cas de paludisme en saison pluvieuse.

2.4- Corrélation entre la pluviométrie et le nombre de cas de paludisme

Le nombre de cas de paludisme est fonction des quantités de pluies tombées (Cf. Figure 5).

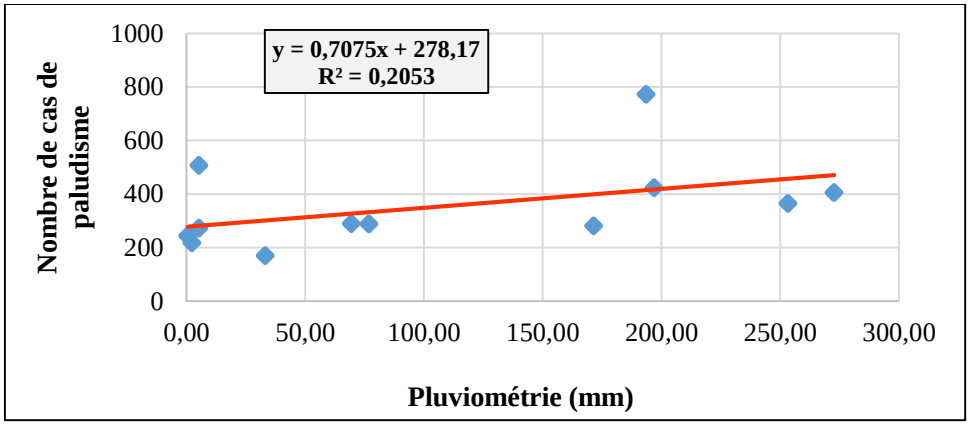


Figure 5. Relation entre la pluviométrie et l'émergence du paludisme à Lataha.

Source : *Nos enquête de terrain, Mars 2025*

Cette corrélation est mise en évidence par la droite d'équation y = 0,7075x + 278,17. En effet, plus la pluviométrie augmente, plus le nombre de cas croît. La régression linéaire (R^2 = 0.21) montre un **lien faible** (21% de variance expliquée).

Conclusion

La sous-préfecture de Lataha a un régime pluviométrique de type unimodal. Pour la saison sèche, le mois d'Août enregistre les plus fortes quantités de pluie. Le paludisme simple est le type de paludisme le plus récurent surtout chez les enfants de moins de 10 ans. Les cas de paludisme évoluent en fonction de la quantité de pluie tombée. Multiplier les campagnes de distribution des MILDA et assainir le cadre vie en saison pluvieuse pourraient contribuer à la réduction des cas de paludisme dans la sous-préfecture de Lataha.

Bibliographie

CISSE Mamadou Oury, LAMA Eugène Kaman, CAMARA Alioune, 2021, Influence de la variabilité des paramètres climatiques et l'évolution du paludisme : cas de quatre districts sanitaires du pays (Guinée Conakry), Posters : infections parasitaires et fongiques, ScienceDirect, 22es Journées nationales d'infectiologie, 4 p.

DIOBO Kpaka Sabine épse Doudou et TAPÉ Sophie Pulchérie, 2018, Environnement et répartition des pathologies dans une ville du littoral ivoirien : cas de grand-Lahou, Revue des Sciences Sociales, pp. 200-210

EXPERTISE France, Groupe AFD, 2023, Changement climatique et paludisme : comment se préparer à la reconfiguration radicale de l'épidémie ? 4 p.

GOUATAINE Seingue Romain et MBA Maimouna, 2019, Variabilité climatique et émergence du paludisme à Bongor (TCHAD), Revue Espace, Territoires, Sociétés et Santé, Numéro 1, Volume **2,** pp. 143-156

MBANI Charnie Evraelle et NDZANI Ferdinand, 2023, Disparités territoriales d'offre de soins de santé en milieu rural : cas du district de Sibiti, République du Congo, DaloGéo, revue scientifique spécialisée en Géographie, Université Jean Lorougnon Guédé, numéro **009**, pp. 114-123

OMS, 2017, Rapport sur le paludisme dans le monde, Genève, Document de travail, 196 p.

OMS, 2023, Changements climatiques et santé, Rapport du Directeur général, 5 p.

TOU Gnigassilaga Gilda, BOUBA Djourdebbé Franklins et BOUGMA Moussa, 2022, Niveaux, Tendances et Déterminants de la Morbidité Palustre des Enfants de moins de cinq ans au Burkina Faso de 2010 à 2018, European Scientific Journal, ESJ, Numéro 18, Volume **27**, pp. 49-76

UNICEF, 2013, La situation des enfants dans le monde en 2012, Disponible sur : http://www.unicef.org/french/sowc/files/SOWC_2012_Main_Report_LoRes_PDF_FR_03132012.pdf

IMPACT DU CLIMAT SUR LA VARIABILITE TEMPORELLE DU BILAN NET DE L'ECOSYSTEME DES FORETS EUROPEENNES : OBSERVATIONS ET MODELISATION

Julien CRETAT [1], Asmat ULLAH [1], Olivier MATHIEU [1], Mathieu THEVENOT [1]

[1] Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université Bourgogne Europe, Dijon, France (julien.cretat@ube.fr)

Résumé *: Une analyse conjointe des observations du réseau ICOS, de modèles physiques et statistiques permettent d'étudier l'influence du climat sur le cycle annuel et la variabilité interannuelle des échanges nets de carbone (NEE) entre l'atmosphère et les forêts européennes. L'ensemble des jeux de données montre que le cycle annuel du NEE est corrélé négativement à la température et à la demande évaporative, et positivement à l'humidité du sol. Concernant la variabilité interannuelle, la relation avec le climat est globalement faible lorsque tous les mois sont analysés ensemble, ce qui masque des effets saisonniers sous-jacents. Ces effets, qui s'inversent entre le printemps et l'été, sont plus nettement structurés dans les modèles que dans les observations.*

Mots-Clés *: climat, Europe, forêts, NEE*

Abstract: Climate impact on the temporal variability of forest net ecosystem exchange in Europe: observations and modeling. *A combined analysis of ICOS network observations with physical and statistical models enables the investigation of climate influences on both the annual cycle and interannual variability of net carbon exchange (NEE) between the atmosphere and European forests. All datasets reveal that the annual cycle of NEE is negatively correlated with temperature and evaporative demand, and positively correlated with soil moisture. For interannual variability, the overall relationship with climate is weak when considering all months together, which masks underlying seasonal patterns. These seasonal effects, which reverse between spring and summer, are more distinctly captured in models than in observations.*

Keywords*: climate, Europe, forest, NEE.*

Introduction

Principaux puits de carbone continentaux, les écosystèmes forestiers prennent de plein fouet le changement climatique. Les vagues de chaleur et sécheresse ayant frappé l'Europe en 2003, 2018 et 2022 en sont une illustration, avec une diminution significative de la séquestration de carbone par ces écosystèmes (Smith et al., 2020 ; Thompson et al., 2020 ; Van Der Woude et al., 2023).

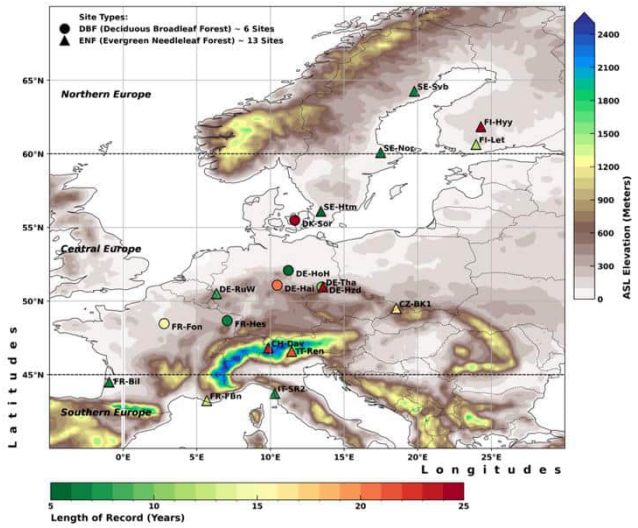
Le bilan net de l'écosystème (NEE), défini comme la différence entre le carbone relargué par respiration et celui séquestré par photosynthèse (NEE<0 = séquestration), est un indicateur pertinent pour caractériser la variabilité temporelle des échanges de carbone entre l'atmosphère et les écosystèmes forestiers et identifier les facteurs contrôlant ces échanges. Le NEE est mesuré au-dessus de la canopée en couplant un analyseur de CO_2 à un anémomètre 3D. Ces dispositifs restent rares, nécessitant de relayer l'observation par de la modélisation. Deux familles de modèles le permettent : les modèles statistiques, qui identifient des relations empiriques entre le NEE observé et des facteurs environnementaux (climat et activité photosynthétique), et les modèles physiques basés sur les processus biogéochimiques, physiques et écophysiologiques.

Les études citées précédemment reposent sur des études de cas et se concentrent uniquement sur le printemps et l'été. Une analyse multi-annuelle à l'échelle européenne reste nécessaire pour mieux appréhender l'impact du climat sur le NEE. C'est l'objectif de cette étude qui questionne l'impact du climat sur le cycle annuel et la variabilité interannuelle du NEE en analysant conjointement les observations et un large ensemble d'estimations statistiques et physiques.

1. Matériel et méthodes

1.1. Sites d'étude

Nous avons sélectionné les 19 sites forestiers du réseau ICOS (Integrated Carbon Observation System) disposant d'au moins 5 ans de mesures du NEE (Figure 1) : 6 correspondants à des forêts de feuillus (DBF) et 13 à des forêts de résineux (ENF). Trois sites ENF sont situés dans le sud de l'Europe (~45°N) et sont caractérisés par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Quatre sites ENF du nord de l'Europe présentent un climat subarctique, froid et humide. Les douze autres sites (6 ENF et 6 DBF) sont localisés en Europe centrale et couvrent une large gamme d'altitudes et de climats allant du tempéré au continental, avec une forte amplitude annuelle des températures et des précipitations.



Le symbole "●" correspond aux 6 sites situés en forêts feuillues décidues (DBF). Le symbole "▲" indique les 13 sites situés en forêts de conifères sempervirentes (ENF). L'échelle de couleur verticale représente l'altitude du terrain (ASL) en mètres. L'échelle de couleur horizontale indique la durée de la série de mesures du NEE pour chaque site. La couche d'élévation provient du National Geophysical Data Center/NESDIS/NOAA/U.S. Department of Commerce (1995) : TerrainBase, Global 5 Arc-minute Ocean Depth and Land Elevation, https://doi.org/10.5065/E08M-4482. Distribué sous licence CC by 4.0.

Figure 1. Localisation des sites de mesure du NEE du réseau ICOS sélectionnés pour cette étude.

1.2. Bilan net de l'écosystème

Les mesures de NEE proviennent de la base de données *Warm Winter 2020* disponible sur la plateforme ICOS. Pour chaque site, les séries temporelles journalières ont été extraites et agrégées au pas de temps mensuel. La profondeur temporelle des données varie de moins de 10 ans à plus de 20 ans (Fig. 1), limitant l'analyse de la relation interannuelle entre le climat et le NEE.

Quatre modèles statistiques sont utilisés. Tous reposent sur des modèles d'intelligence artificielles croisant observations du NEE et facteurs environnementaux. Le premier, développé par la société CarbonSpace, prend en compte à la fois climat et l'activité photosynthétique comme facteurs explicatifs et fournit des estimations à une résolution hectométrique (Zhuravlev et al., 2022). Les trois autres proviennent de l'initiative FLUXCOM (Jung et al., 2019, 2020; Nelson et al., 2024). Deux modèles (FLUXCOM-ERA5 et -X) considèrent aussi le climat et l'activité photosynthétique. Ils diffèrent par le nombre de tours à flux et d'images satellitales pris en compte ainsi que par le grain spatial. Le dernier modèle (FLUXCOM-MODIS) mobilise uniquement l'activité photosynthétique.

Nous utilisons enfin le modèle physique SMAP-L4C (Kimball et al., 2022) ainsi que la moyenne de 15 modèles de végétation dynamique globale (DGVM) du projet TRENDY (Sitch et al., 2024). Développé par la NASA, le modèle SMAP-L4C assimile des données micro-ondes de l'humidité du sol et est forcé par des classes d'occupation du sol observées. Chaque modèle de l'ensemble TRENDY est forcé des observations de l'évolution de la concentration

atmosphérique de CO_2, du climat et de l'utilisation des terres. Le tableau 1 détaille la résolution spatiale et la période retenue pour les modèles.

Nom des modèles	Type	Résolution spatiale	Couverture temporelle
CarbonSpace	Modèles statistiques	Hectométrique	01/2000 – 08/2023
FLUXCOM-ERA5		50 km	01/1979 – 12/2018
FLUXCOM-MODIS		8 km	01/2001 – 12/2015
FLUXCOM-X		5 km	01/2001 – 12/2021
SMAP-L4C	Modèles physiques	9 km	03/2015 – 09/2023
TRENDY		50 km	01/1950 – 12/2022

Tableau 1. Modèles statistiques et physiques mobilisés dans cette étude.

1.3. Climat

Nous utilisons le jeu de données ERA5-Land (Muñoz-Sabater et al., 2019), issu du modèle de surface terrestre HTESSEL du Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme (ECMWF), avec une résolution spatiale de 0,1 degré. Nous mobilisons la température à 2 m (T_{2m}), l'humidité moyenne du sol (SM) calculée comme la moyenne volumique des quatre couches de sol (0–7 cm, 7–28 cm, 28–100 cm, et 100–289 cm), et avons calculé le déficit de pression de vapeur (VPD) comme proxy de la demande évaporative de l'atmosphère.

1.4. Méthode

Pour les jeux de données spatialisés (ERA5-Land, FLUXCOM, TRENDY et SMAP-L4C), le point de grille le plus proche de chaque site a été extrait. Un travail préliminaire d'évaluation, non présenté ici, montre que les modèles capturent les grands traits observés (séquestration estivale versus relargage hivernal, durée de séquestration plus courte dans le Nord que le Sud de l'Europe et cycle annuel plus marqué pour les feuillus que les résineux en Europe centrale) malgré une sous-estimation quasi systématique de la séquestration estivale et de la variabilité interannuelle.

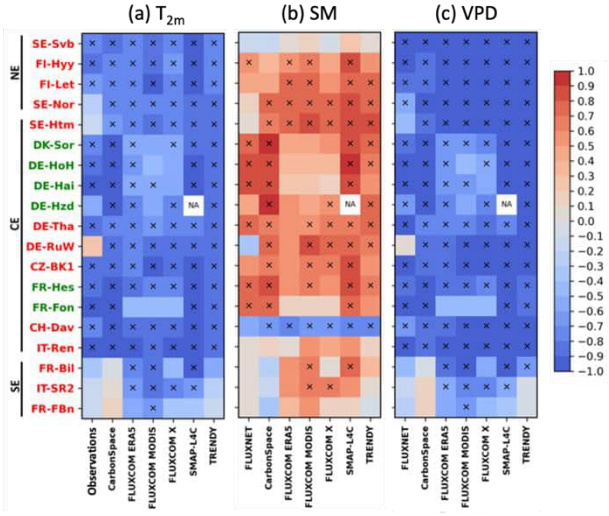
L'influence du climat sur le cycle annuel et la variabilité interannuelle du NEE est analysée sur les années communes entre chaque produit de NEE et ERA5-Land *via* le coefficient de corrélation de Bravais Pearson (R). Pour le cycle annuel, R est calculé pour chaque année puis moyenné. Pour la variabilité interannuelle, R est calculé en considérant (i) les anomalies mensuelles tous mois confondus après retrait du cycle annuel moyen et (ii) chaque mois.

2. Résultats

2.1. Impact du climat sur le cycle annuel du NEE

L'impact du climat sur le cycle annuel du NEE est très consistant entre les jeux de données (Figure 2). Le NEE est négativement corrélé à T_{2m} et VPD et positivement corrélé à SM. Autrement dit, la séquestration de carbone par les écosystèmes forestiers est maximale lorsque les conditions sont chaudes et sèches, c'est-à-dire en été. Au contraire, le relargage de carbone est maximal lorsque les conditions sont froides et humides, c'est-à-dire en hiver. Cette relation est davantage marquée en Europe du Nord et Centrale, où la saisonnalité climatique est plus contrastée qu'en Europe du Sud, rendant les effets saisonniers du climat sur les flux de carbone plus prononcés. Quelques sites font exception, notamment le site alpin de Davos qui présente

une corrélation négative entre le NEE et SM en raison de précipitations abondantes toute l'année et de la fonte du couvert neigeux (non montré). Les modèles de l'initiative FLUXCOM apparaissent comme les moins performants, sous-estimant l'impact du climat des sites en feuillus d'Europe Centrale et le surestimant en Europe du Sud.

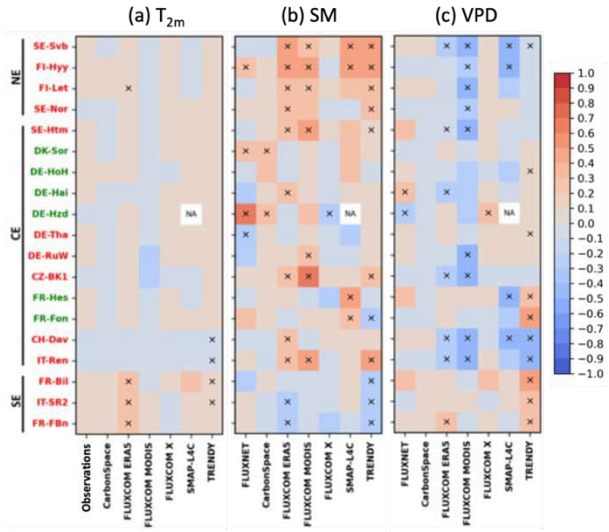


Les symboles × indiquent les corrélations significatives au seuil de confiance de 95 %. Les cellules indiquées « NA » correspondent à des données de NEE aberrantes (SMAP-L4C). Les sites de forêt de résineux (ENF) sont indiqués en rouge, tandis que les sites de feuillus (DBF) sont en vert. Les sites sont ordonnés du nord au sud et les lignes verticales noires délimitent les régions d'Europe du nord (NE), centrale (CE) et du sud (SE).

Figure 2. Corrélation de Bravais Pearson entre le cycle annuel du NEE et celui (a) de la température à 2 m, (b) de l'humidité du sol, et (c) du déficit de pression de vapeur sur l'ensemble des sites et des jeux de données.

2.2. Impact du climat sur la variabilité interannuelle du NEE

A l'échelle interannuelle, le climat n'influence pas nettement le NEE lorsque tous les mois de l'année sont considérés d'un bloc (Figure 3). Les corrélations apparaissent en effet non significatives ou faibles en fonction du jeu de données et du site. Il est cependant à noter que les modèles suggèrent que le NEE soit influencé par l'humidité du sol et la demande évaporative de l'atmosphère bien que le signe et l'intensité des corrélations fluctuent dans l'espace et entre les modèles.

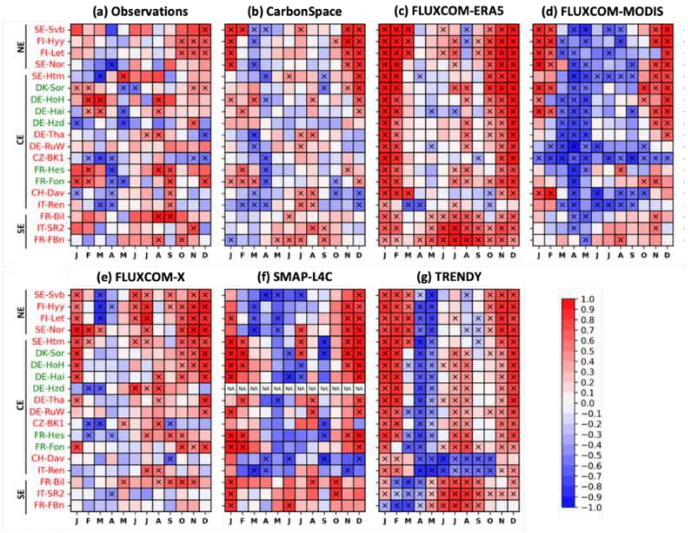


Les symboles × indiquent les corrélations significatives au seuil de confiance de 95 %. Les cellules indiquées « NA » correspondent à des données de NEE aberrantes (SMAP-L4C). Les sites de forêt de résineux (ENF) sont indiqués en rouge, tandis que les sites de feuillus (DBF) sont en vert. Les sites sont ordonnés du nord au sud et les lignes verticales noires délimitent les régions d'Europe du nord (NE), centrale (CE) et du sud (SE).

Figure 3. Corrélation de Bravais Pearson entre les anomalies mensuelles du NEE et celles (a) de la température à 2 m, (b) de l'humidité du sol, et (c) du déficit de pression de vapeur sur l'ensemble des sites et des jeux de données.

Cette absence apparente de relation masque des patrons saisonniers. Par soucis de concision, nous montrons ces patrons uniquement pour T_{2m} (Figure 4). En hiver et automne, des températures anormalement élevées favorisent le relargage de carbone des écosystèmes forestiers vers l'atmosphère. Au printemps, une température et une demande évaporative

anormalement élevées ainsi que des sols anormalement secs favorisent la séquestration. Ce patron s'inverse en été, indiquant que les fortes chaleurs et la sécheresse du sol réduisent drastiquement la capacité des forêts à séquestrer du carbone.



Les symboles × indiquent les corrélations significatives au seuil de confiance de 95 %. Les cellules indiquées « NA » correspondent à des données de NEE aberrantes (SMAP-L4C). Les sites de forêt de résineux (ENF) sont indiqués en rouge, tandis que les sites de feuillus (DBF) sont en vert. Les sites sont ordonnés du nord au sud et les lignes verticales noires délimitent les régions d'Europe du nord (NE), centrale (CE) et du sud (SE).

Figure 4. Corrélation de Bravais Pearson entre le NEE et la température à 2 m pour chaque mois et chaque site dans (a) les observations, (b-e) les modèles statistiques et (f-g) les modèles physiques.

Notons tout de même que les patrons sont bruités dans les observations, probablement en raison de la faible profondeur temporelle des données et des spécificités locales des sites. Ils sont au contraire très structurés le long du cycle annuel dans les modèles. Cependant, les patrons diffèrent sensiblement entre les modèles, point illustré par trois exemples. D'une part, les corrélations sont plus faibles dans le modèle à résolution hectométrique (Fig. 4b) suggérant des effets de site non pris en compte dans les modèles de large échelle. D'autre part, le modèle statistique basé uniquement sur l'activité photosynthétique (Fig. 4d) ne capture pas le changement de signe de la relation NEE – T_{2m} entre le printemps et l'été, indiquant une forte sensibilité des modèles statistiques à la nature des facteurs explicatifs pris en compte. Enfin la bascule printemps – été est moins tranchée dans le modèle physique SMAP-L4C que dans l'ensemble TRENDY.

Conclusion

Ces résultats mettent en évidence un fort contrôle du climat sur le cycle annuel et la variabilité interannuelle du NEE. Concernant cette dernière, l'influence du climat varie selon les saisons, avec des effets parfois opposés d'un mois à l'autre, de sorte que le signal climatique peut être masqué lorsque la variabilité interannuelle est analysée sans distinction saisonnière. Il est donc essentiel d'intégrer explicitement la saisonnalité dans l'analyse. Enfin, ces résultats soulignent des incertitudes à la fois dans les observations et les modèles, ce qui appelle au développement de méthodes permettant d'isoler les effets locaux des signaux régionaux afin de faciliter les comparaisons.

Remerciement : Ce travail est financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-22-CPJ2-0026-01) et s'inscrit dans le cadre du « Laboratoire d'expérimentation forestière du mont Beuvray », soutenu par l'Union Européenne (FEADER) et la Région Bourgogne-Franche-Comté, dans le cadre du Partenariat Européen pour l'Innovation en agriculture (PEI-AGRI).

Bibliographie

Jung M., Koirala S., Weber U., Ichii K., Gans F., Camps-Valls G., Papale D., Schwalm C., Tramontana G. et

Reichstein M., 2019 : The FLUXCOM ensemble of global land-atmosphere energy fluxes. *Sci. Data*, **6**, 1–14.

Jung M., Schwalm C., Migliavacca M., Walther S., Camps-Valls G., Koirala S., Anthoni P., Besnard S., Bodesheim P., Carvalhais N., Chevallier F., Gans F., Goll D. S., Haverd V., Köhler P., Ichii K., Jain A. K., Liu J., Lombardozzi D., Nabel J. E. M. S., Nelson J. A., O'Sullivan M., Pallandt M., Papale D., Peters W., Pongratz J., Rödenbeck C., Sitch S., Tramontana G., Walker A., Weber U. et Reichstein M., 2020 : Scaling carbon fluxes from eddy covariance sites to globe: Synthesis and evaluation of the FLUXCOM approach. *Biogeosciences*, **17**, 1343–1365.

Kimball J. S., Endsley A., Jones L. A., Kundig T. et Reichle R., 2022 : SMAP L4 Global Daily 9 km EASE-Grid Carbon Net Ecosystem Exchange, Version 7. National Snow and Ice Data Center, https://doi.org/https://doi.org/10.5067/3K9F0S1Q5J2U.

Muñoz-Sabater J., Dutra E., Agustí-Panareda A., Albergel C., Arduini G., Balsamo G., Boussetta S., Choulga M., Harrigan S., Hersbach H., Martens B., Miralles D. G., Piles M., Rodríguez-Fernández N. J., Zsoter E., Buontempo C., et Thépaut, J.-N, 2019 : ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac.

Nelson J., Walther S., Gans F., Kraft B., Weber U., Novick K., Buchmann N., Migliavacca M., Wohlfahrt G., Šigut L., Ibrom A., Papale D., Göckede M., Duveiller G., Knohl A., Hörtnagl L., Scott R., Zhang W., Hamdi Z., Reichstein M., Aranda-Barranco S., Ardö J., Op de Beeck M., Billdesbach D., Bowling D., Bracho R., Brümmer C., Camps-Valls G., Chen S., Cleverly J., Desai A., Dong G., El-Madany T., Euskirchen E., Feigenwinter I., Galvagno M., Gerosa G., Gielen B., Goded I., Goslee S., Gough C., Heinesch B., Ichii K., Jackowicz-Korczynski M., Klosterhalfen A., Knox S., Kobayashi H., Kohonen K., Korkiakoski M., Mammarella I., Mana G., Marzuoli R., Matamala R., Metzger S., Montagnani L., Nicolini G., O'Halloran T., Ourcival J., Peichl M., Pendall E., Ruiz Reverter B., Roland M., Sabbatini S., Sachs T., Schmidt M., Schwalm C., Shekhar A., Silberstein R., Silveira M., Spano D., Tagesson T., Tramontana G., Trotta C., Turco F., Vesala T., Vincke C., Vitale D., Vivoni E., Wang Y., Woodgate W., Yepez E., Zhang J., Zona D. et Jung M., 2024 : X-BASE: the first terrestrial carbon and water flux products from an extended data-driven scaling framework, FLUXCOM-X. *Biogeosciences*, **21**, 5079–5115.

Sitch S., O'Sullivan M., Robertson E., Friedlingstein P., Albergel C., Anthoni P., Arneth A., Arora V. K., Bastos A., Bastrikov V., Bellouin N., Canadell J. G., Chini L., Ciais P., Falk S., Harris I., Hurtt G., Ito A., Jain A. K., Jones M. W., Joos F., Kato E., Kennedy D., Klein Goldewijk K., Kluzek E., Knauer J., Lawrence P. J., Lombardozzi D., Melton J. R., Nabel J. E. M. S., Pan N., Peylin P., Pongratz J., Poulter B., Rosan T. M., Sun Q., Tian H., Walker A. P., Weber U., Yuan W., Yue X. et Zaehle S., 2024 : Trends and Drivers of Terrestrial Sources and Sinks of Carbon Dioxide: An Overview of the TRENDY Project. *Global Biogeochem. Cycles*, **38**, e2024GB008102.

Smith N. E., Kooijmans L. M. J., Koren G., van Schaik E., van der Woude A. M., Wanders N., Ramonet M., Xueref-Remy I., Siebicke L., Manca G., Brümmer C., Baker I. T., Haynes K. D., Luijkx I. T. et Peters W., 2020 : Spring enhancement and summer reduction in carbon uptake during the 2018 drought in northwestern Europe. *Philos. Trans. R. Soc. B*, **375**, 1–11.

Thompson R. L., Broquet G., Gerbig C., Koch T., Lang M., Monteil G., Munassar S., Nickless A., Scholze M., Ramonet M., Karstens U., van Schaik E., Wu Z. et Rödenbeck C., 2020 : Changes in net ecosystem exchange over Europe during the 2018 drought based on atmospheric observations. *Philos. Trans. R. Soc. B*, **375**, 1–10.

Van Der Woude A. M., Peters W., Joetzjer E., Lafont S., Koren G., Ciais P., Ramonet M., Xu Y., Bastos A., Botía S., Sitch S., de Kok R., Kneuer T., Kubistin D., Jacotot A., Loubet B., Herig-Coimbra P.-H., Loustau D. et Luijkx I. T., 2023 : Temperature extremes of 2022 reduced carbon uptake by forests in Europe. *Nat. Commun.*, **14**, 1–11.

Zhuravlev R., Dara A., Diniz dos Santos A. L., Demidov O. et Burba G., 2022 : Globally Scalable Approach to Estimate Net Ecosystem Exchange Based on Remote Sensing, Meteorological Data, and Direct Measurements of Eddy Covariance Sites. *Remote Sens.*, **14**, 1–21.

ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICACITE DES OUVRAGES ANTI-SEL SENEGALAIS DANS LA RESILIENCE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Adolphe DIATTA[1,2], Didier Maria NDIONE[1], Soussou SAMBOU[1], Daouda BADIANE[2], Moustapha DIENE[3], Baba SARR[4]

(1): Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Physiques, Laboratoire d'Hydraulique et Mécanique des Fluides, e-mail : dadhit69@gmail.com , didiermaria.ndione@ucad.edu.sn , soussou.sambou@ucad.edu.sn

(2) : Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Ecole Supérieure Polytechnique, Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan / Siméon Fongang, e-mail : daouda.badiane@esp.sn

(3) : Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Laboratoire d'Hydrogéologie, e-mail : moudien@gmail.com

(4 : Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Institut Fondamental d'Afrique Noire Cheikh Anta Diop, e-mail : baba_sarr@yahoo.fr

Résumé : *Des barrages et digues anti-sel traditionnels diolas et modernes sont utilisés au Sénégal pour lutter contre la salinisation et l'acidification des sols côtiers. L'objet de ce papier est de déterminer les ouvrages anti-sel les plus performants dans la récupération et valorisation durable des sols contaminés. Ainsi, 25 ouvrages modernes et 32 traditionnels diolas ont été inspectés au Sine - Saloum et en Casamance et des expériences de lessivage d'échantillons de sols contaminés menées au laboratoire. Après 02 vidanges et renouvellements d'eau, la conductivité électrique dans le bac simulant les ouvrages traditionnels à une profondeur de 25 cm est passée de 13.45 à 2.21 mS/cm ; tandis qu'il a fallu 04 vidanges et renouvellements d'eau dans celui simulant les ouvrages modernes pour qu'elle passe de 11.60 à 2.40 mS/cm. Les ouvrages anti-sel traditionnels diolas sont plus performants que ceux modernes dans la récupération et la valorisation durable des sols contaminés.*

Mots clés *: Sénégal, salinisation, récupération*

Abstract: ***Comparative study of the effectiveness of senegalese anti-salt structures in resilience to climate change.*** *Diola's traditional and modern anti-salt dams and dikes are used against coastal soils salinization and acidification in Senegal. The aim of this paper is to determine the more efficient anti-salt works in the recovery and sustainable valorization of the contaminated soils. Thus, 25 moderns and 32 diola's traditional works were inspected in Sine-Saloum and Casamance; and experiments of leaching contaminated soils samples were carried out in laboratory. After 02 emptying and water renewals, the electrical conductivity at 25 cm depth in the diolas' traditional works simulating tank decreased from 13.45 to 2.21 mS/cm; while it took 04 emptying and water renewals in the modern structures' simulating tank to pass from 11.60 to 2.40 mS/cm. So diola's anti-salt works are more efficient than the modern ones in the recovery and sustainable valorization of contaminated soils.*

Keywords*: Senegal, salinization, soils, recovery*

Introduction

Le Sénégal a 700 km de côte Atlantique. Cependant, avec les changements climatiques en cours, ses bas-fonds côtiers où jadis les paysans cultivaient du riz, sont de plus en plus affectés par une salinisation et une acidification inquiétante. Afin de lutter contre ces phénomènes naturels, plusieurs techniques sont mises en œuvre à travers le pays, entre autres la construction de barrages et digues anti-sel modernes et traditionnels diolas. Les ouvrages traditionnels sont constitués d'une digue en remblai de terre prélevée parallèlement à l'ouvrage, en laissant une tranchée ouverte pour constituer une réserve d'eau salée pendant la saison sèche, mais aussi intercepter et drainer les eaux souterraines pendant la saison des pluies (A. Diatta et *al.,* 2024). Cette réserve d'eau permet la pisciculture et la production de sel de cuisine. En sus, ladite digue protège les rizières situées en amont contre l'avancée de l'eau marine. Elle est équipée de plusieurs troncs de rôniers ou de palmiers évidés pour la régulation du niveau de l'eau dans la retenue, le drainage des sols pendant la saison des pluies, l'introduction de l'eau de mer et des poissons pendant la saison sèche (P. Pélissier, 1966). En outre, les ouvrages modernes sont

généralement constitués d'une digue en terre d'apport (latérite) et d'un déversoir seuil en béton armé pour l'évacuation automatique des excès d'eau de pluie hors de la retenue. En sus des déversoirs évacuateurs de crues, les ouvrages sont équipés de vannes murales ou de batardeaux pour la régulation de la retenue et le lessivage des sols contaminés. Selon le type d'ouvrage adopté pour lutter contre la salinisation et l'acidification des sols, les processus de récupération et valorisation durable des sols contaminés prennent deux à plusieurs années (J. P. Montoroi, 1994). Peu d'études s'intéressent aux causes de cette variation des temps de récupération et valorisation durable des sols contaminés et lesquels desdits ouvrages anti-sel sont plus performants.

L'objet de ce papier est de déterminer les ouvrages anti-sel les plus performants dans la récupération et valorisation durable des sols contaminés. Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons utilisé la méthodologie ci-après décrite.

1. Méthodologie

1.1. Méthodologie utilisée

Afin de mieux comprendre l'efficacité des barrages et digues anti-sel dans les processus de récupération et valorisation durable des sols salés sulfatés acides des milieux semi-arides et subhumides secs du Sénégal, nous avons mené des enquêtes sur l'impact de 25 ouvrages modernes existants dans le Sine – Saloum (Badoudou, Boyar, Djilass, Djiolor Djidiack, Diofior, Fayil, Kaymor, Kabangoye, Keur Aliou Guèye, Néma Bah, Ndiao Bambaly, Oel Sandé, Oyaw, Thiaré, Yayem) et en Basse Casamance (Afiniam, Carounate, Diantène, Edioungou, Diouloulou, Ediamath, Tendouck) et 32 ouvrages traditionnels diolas en Casamance Maritime (Diantène, Djivente, Ehidj, Kagnoute, Kathiouane, Nikine, Niomoune, Ourong, Sifoka, et Wendaye). Outre ces enquêtes, nous avons mené des campagnes de mesures de la conductivité électrique et du pH sur le terrain à Fayil (Sine Saloum). En sus, nous avons mené des expériences de lessivage de trois échantillons de sols salés sulfatés acides transférés au laboratoire, dont un témoin. Le lessivage des deux autres échantillons a été fait par simulation des principes fonctionnement des ouvrages anti-sel modernes et traditionnels diolas.

1.2. Outils utilisés

Afin de mener les investigations ci-dessus mentionnées, le matériel ci-après a été mobilisé :

- Un véhicule de type 4x4 – diesel double cabine pour le déplacement de l'équipe d'enquêtes et de collecte des données de terrain ;
- Un conductivimètre électrique multi-paramètres de type HACH - CO150, pour la mesure de la conductivité électrique et de la température sur le terrain et au laboratoire,
- Un pH-mètre multi-paramètres de type pH – 206 pour l'évaluation de l'acidité du sol sur le terrain et des échantillons d'eau prélevés dans les bacs expérimentaux ;
- Une balance électronique de masse maximale admissible 3 kg de marque SELECLINE pour la mesure de la masse des échantillons de sols prélevés sur le terrain à différentes profondeurs ;
- Un camion benne de 12 m^3 pour le transfert des échantillons de sols salés sulfatés acides de Fayil (Fatick) au laboratoire ;
- Un dispositif expérimental composé de trois bacs expérimentaux dont un témoin et deux simulant respectivement les processus de lessivage des sols contaminés par barrages et digues modernes et traditionnels diolas (A. Diatta *et al.,* 2024) ;
- Le petit matériel de laboratoire (éprouvettes, Erlenmeyers, Béchers, pots, etc.) pour le prélèvement des échantillons de sols et d'eau la mesure des volumes requis ;

- De l'eau minérale pour la préparation des solutions de sol sur le terrain (1/5) et de l'eau de robinet pour le lessivage des échantillons de sols au laboratoire.

2. Résultats

2.1. Inspection d'ouvrages anti-sel existants au Sine-Saloum et en Casamance

Les enquêtes sur la récupération et valorisation durable des sols salés sulfatés acides par barrages et digues anti-sel modernes existants dans le Sine – Saloum et en Casamance ont montré que dans des conditions climatiques identiques, les ouvrages équipés de batardeaux sont moins performants que ceux équipés de vannes murales. En outre, le temps de récupération et valorisation des terres récupérées varie de deux à plus de 10 ans. En sus, il ressort aussi des enquêtes qu'une dizaine d'années après la mise en exploitation des sols récupérés par construction d'ouvrages modernes, ceux-ci commencent à devenir improductifs. Les feuilles des plants de riz commencent à rougir durant la phase végétative et la plupart des plantes affectées meurent avant la phase reproductive. Par exemple, en Basse Casamance, les terres des vallées protégées par le barrage anti-sel d'Affiniam (réalisé durant les années 1980), comme celles protégées par le barrage anti-sel réalisé à Diantène par le PIDAC en 1983, connaissent une baisse de productivité. Dans le Sine - Saloum, le Chef du village de Diofior a fait état d'un exploitant qui avait acheté 100 Ha de terres dans la commune éponyme pour faire de la riziculture. En 2016, il a été contraint d'abonner son projet car 60 Ha sont devenus improductifs.

En effet, compte tenu de la différence de teneurs en solutés entre la nappe phréatique hypersalée sous-jacente et la retenue d'eau créée par la construction de l'ouvrage anti-sel, les ions les plus mobiles diffusent vers la surface. Les batardeaux fonctionnant comme des seuils déversoirs, ils favorisent l'évacuation des eaux douces plus légères et la conservation des eaux saumâtres plus lourdes. Quant aux vannes murales (partiellement ouvertes), elles fonctionnent comme des orifices noyés. Elles évacuent les eaux saumâtres plus riches en solutés et conservent les eaux de pluie moins riches et plus propices à la riziculture (Adolphe *et al.*, 2023). En effet, les sols des bas-fonds sont des fluvisols. Ils sont riches en pyrite (FeS_2) dont la formation est résumée par l'équation 1 ci-après (P. M. Drissen et R. Dudal, 1989) :

$$Fe_2O_3 + 4SO_4^{2-} + 8CH_2O + {}^1\!/_2\, O_2 \rightleftharpoons 2FeS_2 + 8HCO_3^- + 4H_2O \ (Eq.1)$$

Quand l'oxygène atmosphérique dissout dans la retenue pénètre dans le sol, il oxyde la pyrite et libère des protons selon l'équation 2 (P. M. Drissen et R. Dudal, 1989) :

$$FeS_2 + {}^7\!/_2\, O_2 + 3H_2O \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H_3O^+ \text{ (Eq.2)}$$

Le milieu étant aqueux, les ions ferreux sont oxydés en hydroxyde ferrique selon l'équation 3 et libère des protons (P. M. Drissen et R. Dudal, 1989) :

$$6Fe^{2+} + 27H_2O + 2O_2 \rightleftharpoons 6Fe(OH)_3 + 12H_3O^+ \ (Eq.3)$$

En sus, l'oxydation de la pyrite s'accompagne toujours de la libération d'acide sulfurique, de fer II et de métaux et métalloïdes (Al, Ag, Cu, Zn, Cd, Pb, As, Ni, Co, Hg, etc.) associés sous forme de sulfures solubles et potentiellement toxiques pour les plantes. Ainsi au fil des années, les ions les plus mobiles tels Na^+, K^+, Cl^-, etc… sont lessivés, les teneurs en métaux et métalloïdes bloqués par les particules solides du sol (barrières anti-osmotiques) augmentent et les sols récupérés deviennent de plus en acides. Le fer II, certains métaux et l'acidité étant toxiques pour le riz (S. Sadio, 1991 ; J. F. Vizier, 1988), la productivité baisse drastiquement dans les bas-fonds.

En outre, les enquêtes ont montré que les ouvrages anti-sel traditionnels diolas protègent généralement des superficies plus modestes. La période de récupération des sols contaminés varie d'un à deux ans au maximum. La productivité des bas-fonds protégés dépend uniquement

de la pluviosité de l'année à cause de la collecte et du drainage des métaux et métalloïdes libérés lors du lessivage des sols par la tranchée ouverte pendant la construction de l'ouvrage.

Ainsi, les enquêtes de terrain, ont montré que les barrages et digues anti-sel diolas semblent plus performants que les ouvrages modernes dans les processus de récupération et valorisation durable des sols sulfatés acides du pays.

Quant aux campagnes de mesures de terrain, les tableaux 1 et 2 ci-après résument les valeurs moyennes de la conductivité électrique (CE) et du pH, respectivement mesurées dans les vallées amont et aval des barrages N°1 et 3 de Fayil, les 05 et 07 mars 2019.

Tableau 1. Récapitulatif des valeurs moyennes de la conductivité électrique et du pH mesurées dans les vallées amont et aval du barrage N°1 de Fayil

Profondeur (m)	**Ph**		**CE (mS/cm)**		**Température (°C)**	
	Amont	***Aval***	***Amont***	***Aval***	***Amont***	***Aval***
0	4,54	7,46	72,92	54,38	34,95	36,27
25	4,47	7,46	21,12	17,26	30,69	32,68
50	4,40	7,48	18,39	21,56	30,07	32,18
75	4,45	7,48	21,31	23,33	29,90	30,60

Tableau 2. Récapitulatif des valeurs moyennes de la conductivité électrique et du pH mesurées dans les vallées amont et aval du barrage N°3 de Fayil

Profondeur (m)	**Ph**		**CE (mS/cm)**		**Température (°C)**	
	Amont	***Aval***	***Amont***	***Aval***	***Amont***	***Aval***
0	5,63	5,37	68,23	105,64	32,9	34,4
25	4,22	5,22	14,40	22,41	29,3	31,4
50	4,20	5,02	12,34	26,46	27,4	31,7
75	3,72	4,85	19,09	27,79	27,0	29,6

Le tableau 1 montre qu'en aval du barrage 1, le pH est quasiment neutre avec une moyenne générale de 7,47 ; tandis que celui de sa partie amont est acide avec une moyenne générale de 4,47. En effet, la partie aval étant sous l'influence directe de l'eau de mer (inondée deux fois par jour pendant les eaux vives), son pH est quasiment celui de l'eau de mer (7,14). En outre, le tableau 2 montre un pH acide (moyenne générale 5,12) dans la partie aval du barrage 3 de Fayil. Cette acidité est liée à une disparition plus récente de la forêt de mangrove. Cependant, il faut noter que même si les valeurs n'apparaissent pas dans le tableau 2, le pH de la partie régulièrement inondée pendant les eaux mortes est proche de celui de l'eau de mer (7,14). Ainsi, se référant aux équations Eq.1, 2 et 3, l'ensemble des résultats obtenus montre que l'origine de l'acidité des sols est essentiellement due à l'oxydation de la pyrite contenue dans le sol.

Par ailleurs, les résultats obtenus montrent que de part et d'autre des barrages, les profils des conductivités électriques présentent des minima absolus autour de 25 cm pour les parties aval des barrages (17.26 mS/cm pour le barrage N°1 et 22.41 mS/cm pour le barrage N°3) et 50 cm pour les parties amont (18,39 mS/cm pour le barrage N°1 et 12,34 mS/cm pour le barrage N°3), confirmant ainsi une salinisation des sols par diffusion des solutés mobiles de la nappe phréatique salée et des argiles sous-jacentes vers la retenue. Les figures 1 et 2 illustrent les résultats obtenus à Fayil. Elles mettent en exergue les minima absolus de la conductivité électrique à des profondeurs comprises entre 32 et 34 cm.

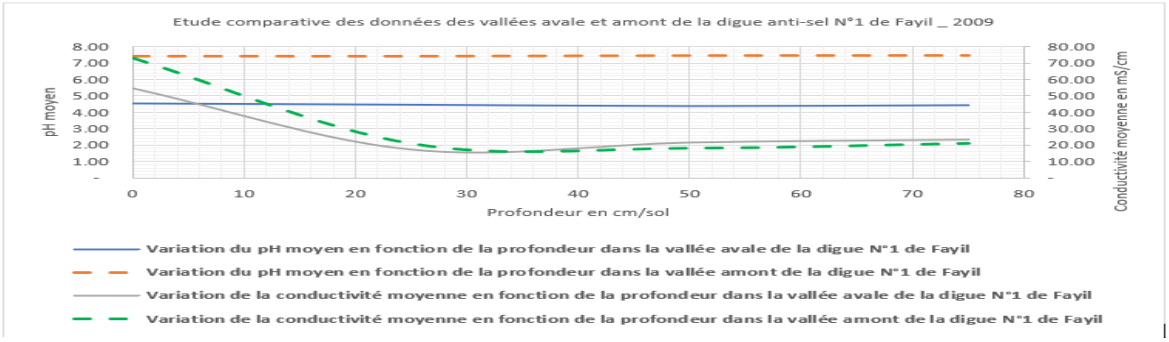


Figure 1. Récapitulatif du pH et de la CE amont et aval du barrage N°1, réalisé en 2009

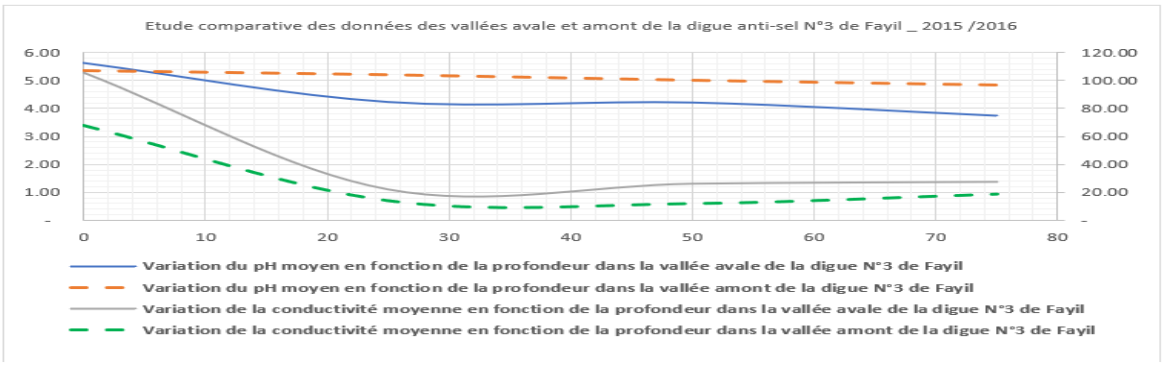


Figure 2. Récapitulatif du pH et de la CE amont et aval du barrage N°3, réalisé en 2015-2016

2.1. Résultats des expériences de laboratoire

Les figures 3 et 4 ci-après illustrent les résultats obtenus lors des expériences menées au laboratoire. Cependant, il faut noter qu'après la première mise en eau, des fuites d'eau nous ont contraint à vider d'urgence et réparer le bac N°2.

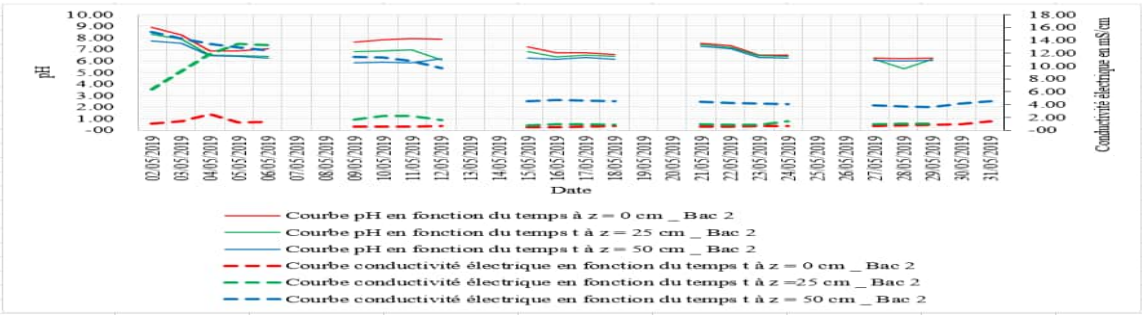


Figure 3. Illustration de la diffusion des solutés de la solution de sol vers la retenue dans le bac 2

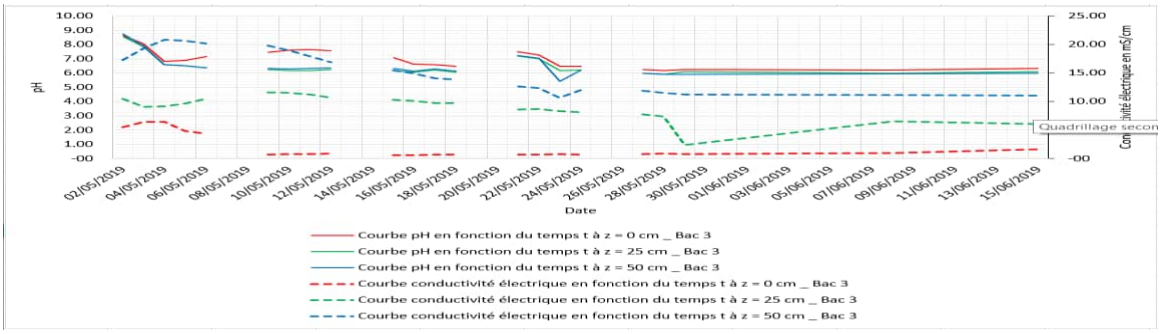


Figure 4. Illustration de la diffusion des solutés de la solution de sol vers la retenue dans le bac 3

Elles montrent qu'après deux vidanges et renouvellement de l'eau du bac N°2, la conductivité électrique à 25 cm de profondeur est passée de 13.45 mS/cm à 2.21 mS/cm ; tandis

qu'il a fallu attendre 04 vidanges pour qu'elle passe dans le bac 3 de 11.60 mS/cm à 2.40 mS/cm à la même profondeur. Les bacs 2 et 3 simulant respectivement les principes de fonctionnement des barrages et digues anti-sel traditionnels diolas et modernes, les figures 3 et 4 montrent que les ouvrages traditionnels diolas sont plus performants que ceux modernes dans les processus de récupération et valorisation durable des sols salés sulfatés acides.

Conclusion

Les résultats des enquêtes sur les processus de récupération et valorisation durables des sols salés sulfatés acides sénégalais par ouvrages anti-sel modernes ou traditionnels diolas ont montré que les premiers sont moins performants que les seconds dans les processus de récupération et valorisation durable des sols salés sulfatés acides du Sénégal. Ils sont confirmés par ceux des expériences menées au laboratoire. Cependant, les surfaces protégées par les ouvrages modernes sont plus importantes que celles des barrages et digues anti-sel traditionnels.

Bibliographie

Diatta A., Badiane D., Sarr B., Sall S. M. Et Leye I., 2023. *Etude comparative de l'efficacité des équipements hydrauliques de régulation des barrages et digues anti-sel dans les processus de lessivage des sols salés sulfatés acides du Sénégal : batardeaux, vannes murales et orifices circulaires longs*, Afrique Sciences 22(**2**)(2023) 42-57

Diatta A., Diene M., Dione D. M., Leye I., Sane M. L., Badiane D., Sarr B., Sambou S., Sall S. M., 2024. *Comparaison des systèmes de lessivage des sols salés sénégalais : une approche expérimentale en milieux contrôlés*, GEOPORO, Numéro Spécial Décembre 2024_Colloque International Pluridisciplinaire AWACLIM 2024, 362-374

Drissen P. M. Et Dudal R. (Eds), 1989, *Lecture notes on the geography, formation, properties and use of major soils of the world*, Agricultural Katholieke 1, Universiteit – Wageningen – Leuven, 296 pages

Montoroi J. P., 1994. Dynamique de l'eau et géochimie des sels d'un bassin versant aménagé de Basse-Casamance (Sénégal) : Conséquences sur la gestion durable de l'écosystème de mangrove en période de sécheresse, Thèse de Doctorat, Université Nancy I, 350 pages

Pelissier P., 1966. *Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance,* Thèse soutenue à l'Université de Bordeaux le 30 juin 1966, Version électronique de l'ouvrage paru sous le même titre (Saint-Yrieix Fabrègue : 939p), 537 pages

Sadio S.,1991. *Pédogénèse et potentialités forestières des sols sulfatés acides salés des tannes du Sine – Saloum*, Sénégal, Editions de l'ORSTOM, 1991, p290

Vizier J. F., 1988. La toxicité ferreuse dans les sols de rizières, importance du problème, causes et mécanismes mises en jeu, conséquences pour l'utilisation des sols. Antenne ORSTOM auprès du CEA DB-SRA, Cadarche (France), 13 pages

DYNAMIQUE SPATIOTEMPORELLE DES PARAMÈTRES AGROCLIMATIQUES DANS LES ZONES PRÉ-GUINÉENNE ET SOUDANIENNE DU MALI

Hamidou DIAWARA[1], Mohamed KOUMARE[2], Oulématou TRAORE[2], Bouramadiè COULIBALY[1]

[1] *Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, Bamako, Mali ; ARGRHYMET CCR-AOS, Niamey, Niger, diawarahamidou@yahoo.fr ; bouramadiecoul48@gmail.com*

[2] *Agence Nationale de la Météorologie du Mali (MALI-METEO), Bamako, Mali, moh94koumare@gmail.com ; oulematou04@gmail.com*

Résumé : *Le changement climatique complique tous les systèmes agricoles classiques fondés sur des expériences historiques. En effet, les saisons agricoles évoluent à cause de la variabilité des paramètres agroclimatiques clés tels que le début et la fin de la saison des pluies, sa durée et la chronologie ainsi que l'intensité des séquences sèches. Cette étude a pour objectif principal d'analyser la dynamique spatiotemporelle de la saison des pluies dans les zones pré-guinéenne et soudanienne du Mali. La méthodologie s'appuie sur l'analyse des données de pluies journalières pluriannuelles des stations de la zone d'étude, à l'aide des outils Khronostat et Instat+. Elle révèle que les paramètres évolutifs sont la longueur de la saison, le nombre de jours et le cumul de pluie, ainsi que les séquences sèches.*

Mots-clés *: changement climatique, zone agro-écologique, saison des pluies, paramètres agroclimatiques.*

Abstract: *Climate change complicates all conventional agricultural systems based on historical experiences. Indeed, agricultural seasons are changing due to the variability of key agroclimatic parameters such as the start and end of the rainy season, its duration and the chronology as well as intensity of dry sequences. The main objective of this study is to analyze the spatiotemporal dynamics of the rainy season in the pre-Guinean and Sudanian zones of Mali. The methodology is based on the analysis of multi-year daily rainfall data from stations in the study area, using Khronostat and Instat+ tools. It reveals that the evolving parameters are season length, number of days and cumulative rainfall, as well as dry sequences.*

Keywords*: climate change, agro-ecological zone, rainy season, agroclimatic parameters.*

Introduction

Le Mali, à l'image des autres pays soudano-sahéliens a connu une diminution considérable de la pluviométrie au cours du 20e siècle, avec un recul des isohyètes de plus de 130 km (CILSS/AGRHYMET, 2016 ; Diawara, 2019 ; Diouf *et al*., 2000). En outre, une grande partie de la production agricole du pays est réalisée en mode cultural pluvial. L'un des plus grands risques de ce mode de production est la fluctuation de certains paramètres clés de la saison des pluies. En effet, des enquêtes réalisées dans les milieux ruraux soudano-sahéliens ont mis en évidence que la maitrise des paramètres tels que les dates de démarrage et de fin de la saison des pluies, ou bien la chronologie des longues séquences sèches, constituent le facteur déterminant de la réussite d'une campagne agricole au Burkina Faso et au Niger (Ingram *et al*., 2002 ; Dan Ladi Tchoho *et al*., 2025). Des stratégies d'adaptation s'appuient alors sur des variétés à cycle court (ou variétés précoces) et résistantes aux sècheresses dans des zones pré-guinéenne et soudanienne du Mali (Diawara *et al*., 2019, 2022).

Dans ce contexte, il est très important de comprendre la dynamique des indicateurs déterminants la réussite des campagnes agricoles, ce qui permettra de mieux orienter les producteurs face aux risques liés à la saison des pluies dans les zones pré-guinéenne et soudanienne du Mali. Cette réflexion soulève la question suivante : quel est le degré de fluctuation des principaux indicateurs agroclimatiques dans ces régions ? Bien que de nombreuses études aient exploré la problématique de la caractérisation des facteurs d'incertitude des saisons agricoles en Afrique de l'Ouest (Nassourou *et al*., 2018), la plupart se sont concentrées sur la perception des producteurs. Cette approche peut parfois conduire à des

réponses contradictoires d'un individu à l'autre. En revanche, la présente étude se distingue par son approche fondée sur des indices objectifs, obtenus grâce à l'analyse des données de précipitations journalières au cours des dernières décennies.

1. Présentation de la zone d'étude

Les zones agro-écologiques pré-guinéenne et soudanienne du Mali se succèdent en bandes quasi horizontales d'Est à l'Ouest, dans la moitié Sud du pays (figure 1). Elles s'étendent sur une superficie cumulée de 276 684 km², soit 22,3 % de la superficie totale du pays.

Le climat de la zone d'étude est caractérisé par un régime pluviométrique unimodal et plus de 1000 mm/an pour la zone pré-guinéenne, et entre 600 à 1000 mm/an pour la zone soudanienne, sur la période 1971-2000. La saison des pluies y dure entre cinq à six mois, de façon décroissante du sud au nord (DNM, 2007).

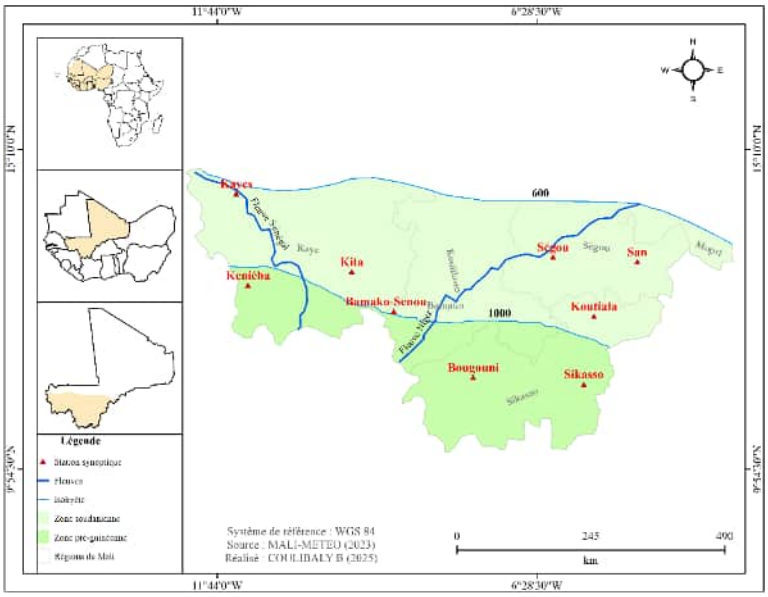


Figure 1. Localisation des zones agro-écologiques pré-guinéenne et soudanienne du Mali, ainsi que des stations synoptiques analysées.

La région constituée des zones agro-écologiques pré-guinéenne et soudanienne, aussi appelée Mali-Sud dans certains documents, constitue la principale zone de production céréalière et cotonnière du Mali, englobant les régions de Ségou, San, Koutiala, Sikasso et Bougouni, parmi les plus grandes productrices du pays (Soumaré *et al*., 2020). La totalité de la production nationale de coton est réalisée dans cette zone.

Les principales céréales cultivées par les agro-pasteurs sédentaires sont surtout le mil, le sorgho, le maïs et le niébé (CIRAD, 2012), dont le rendement est très tributaire de la variabilité spatio-temporelle intra-saisonnière de la pluviométrie.

2. Méthodologie

Elle a consisté à l'analyse et aux traitements des données pluviométriques journalières de neuf stations synoptiques (figure 1), dont trois dans la zone agro-écologique pré-guinéenne et les six autres dans la zone soudanienne. Les séries sont sans interruption, sauf la station de Kéniéba en 2008. Elles vont de 1950 à 2013 pour les stations de Bougouni, Bamako-Senou, Kayes, Kéniéba, Koutiala et Sikasso, soit 64 ans ; et jusqu'en 2018 pour les stations de Kita, San et Ségou, soit une profondeur temporelle de 69 ans.

2.1. Analyse de la variabilité pluviométrique interannuelle

L'homogénéité temporelle des chroniques de cumuls pluviométriques annuels (Pan) a été testée par la méthode de Pettitt qui, selon Lubes-Niel *et al*. (1998) dans son étude sur la puissance et la robustesse de quelques tests d'homogénéité des chroniques, est raisonnable pour détecter les ruptures sur la moyenne. Ce test a été réalisé à l'aide du logiciel Khronostat 1.01 (Boyer, 1998). La variabilité interannuelle des pluies par zone agro-écologique a été analysée grâce à Indice Pluviométrique Standardisé (IPS) ou l'indice de Lamb (Lamb, 1982).

2.2. Analyse de la variabilité des paramètres de la saison des pluies

Les principaux paramètres analysés sont le cumul pluviométrique annuel (Pan), les dates de début et de fin de la saison des pluies, sa longueur (durée), le nombre de jours de pluie et les séquences sèches. Ils ont été déterminés à l'aide du logiciel Instat+ 3.36 (Stern *et al*., 2006), et selon les critères agronomiques suivants pour la zone soudanienne (Sivakumar, 1988 ; Ndong, 2003) :

- **La date de démarrage (début) de la saison des pluies (DDSP)** est le premier jour à partir du 1er mai avec un cumul pluviométrique d'au moins 20 mm sur 3 jours consécutifs, sans qu'il n'y ait de séquences sèches de plus de 10 jours dans les 30 jours qui suivent.

- **La date de fin de la saison des pluies (DFSP)** a été déterminée en utilisant comme critère le bilan hydrique (critère agrométéorologique) qui considère comme date de fin de saison des pluies, celle à laquelle la consommation en eau de la plante épuise la réserve hydrique du sol et ceci, à partir du 1er octobre (Stern *et al*., 2006). Pour cela, on considère la réserve utile (RU) de 70 mm de pluie par mètre de sol et une perte d'eau quotidienne en évapotranspiration de 5 mm.

- **La longueur de la saison des pluies (LSP)** est la différence entre DFSP et DDSP.

- Dans cette étude, **le nombre de jours de pluie (NJP)** correspond au nombre total de jours pluvieux > 0,85 mm dans la saison des pluies, valeur proposée par défaut par l'outil.

- **La séquence sèche au début de la saison des pluies (SSDS)**, c'est-à-dire dans les 30 jours qui suivent le démarrage de la saison, et **la séquence sèche à la fin de la saison (SSFS)**, à partir du 1er octobre, ont été calculées.

Ces paramètres par station et par zone agro-écologique sont analysés afin de comprendre leurs dynamiques et tendances. Les variations (Δ en %) entre différentes périodes consécutives homogènes, définies grâce au test de Pettitt, ont été calculées et analysées selon un seuil de significativité de 5 % ainsi :

Δ = [moy. période (i+1) – moy. période (i)] * 100/moy. période (i)

où moy. = moyenne de chaque période délimitée par des ruptures.

3. Résultats et discussion

3.1. Test de rupture et délimitation de sous-périodes

Les résultats du test de Pettitt montrent une hétérogénéité entre les stations (tableau 1). La plupart des dates de la première rupture identifiée se situent entre la fin des années 1960 et le début des années 1970 ; la seconde rupture, lorsqu'elle existe, se situe entre la fin des années 1980 et le début des années 1990. Plusieurs études ont montré qu'en général, les ruptures stationnelles sont survenues dans les paramètres hydrométéorologiques régionaux en 1970/1971 et 1993 (CILSS/AGRHYMET, 2010 ; Nouaceur, 2020). Spatialement, la première rupture est survenue plus tardivement en zone pré-guinéenne par rapport à la zone soudanienne.

En outre, nous constatons que la plupart des ruptures concernent essentiellement trois paramètres : Pan, DFSP et NJP.

A partir de cette analyse, les trois sous-périodes retenues sont donc 1950-1969, 1970-1993 et 1994-2013 (et jusqu'en 2018 pour certaines stations).

Tableau 1. Années de rupture (au-dessus) des paramètres agroclimatiques et leurs significativité (en dessous) des stations pré-guinéennes et soudaniennes du Mali depuis 1950.

*Significativité des p-values : 0,001 < ** < 0,01 < * < 0,05*

Zone/Station	Pan	DDSP	DFSP	LSP	SSDS	SSFS	NJP
Moyenne de la zone pré-guinéenne	***1970 0,00***	**-**	***1969 0,006****	***1967 0,034****	**-**	***1979 0,038* 2000 0,012****	***1969 0,00***
Bougouni	1964 0,007**	-	-	-	-	-	1972 0,001**
Kéniéba	1971 0,00 1998 0,036*	-	1969 0,019*	-	-	-	1969 0,00
Sikasso	1970 0,011*	-	-	-	-	-	1970 0,003**
Moyenne de la zone soudanienne	***1967 0,00***	**-**	***1967 0,001***	***1967 0,002****	**-**	**-**	***1969 0,00***
Bko_Senou	1967 0,020*	-	-	-	-	1992 0,003**	-
Kayes	1966 0,005**	-	-	1967 0,099	-	-	1967 0,00
Kita	1968 0,00	-	-	1969 0,044*	-	-	1968 0,001
Koutiala	1965 0,001	-	1967 0,025*	-	1971 0,060	-	1971 0,00
San	1966 0,025*	-	-	-	-	-	1968 0,00
Ségou	1967 0,001	-	1969 0,009**	-	1974 0,038*	-	1979 0,00

« - » signifie absence de rupture significative.

3.2. Variation de l'IPS entre 1950 et 2013

La distribution de l'indice IPS montre trois sous-périodes distinctes (figure 2) : 1950-1967 à 1970 est dominée par des années excédentaires dont 11,1 et 4,8 % extrêmement humides (SPI ≥ 2), respectivement pour la zone pré-guinéenne et la zone soudanienne. La sous-période 1971-1993 à 1997 est dominée par des années déficitaires dont 6,7 % d'extrêmes pour la zone pré-guinéenne. La sous-période à partir de 1993 à 1997 est marquée par une alternance plus ou moins intense des années excédentaires et déficitaires. Cette dynamique régionale confirme les résultats d'autres études menées sur le Sahel (Paturel *et al*., 1998 ; CILSS/AGRHYMET, 2010).

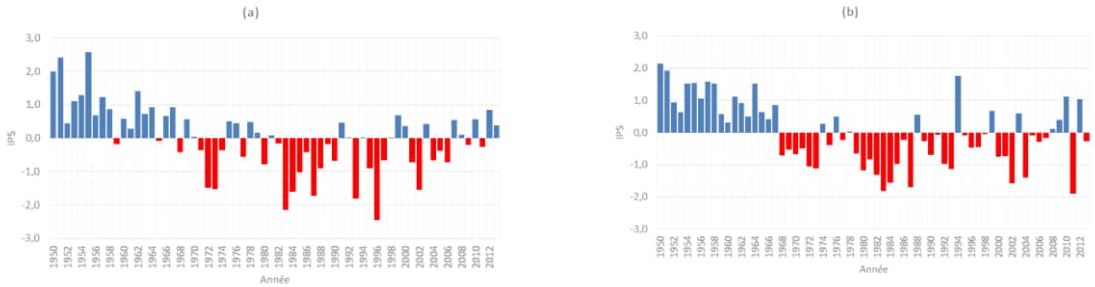


Figure 2. Distribution de l'IPS (Indice de Pluie Standardisé) dans les zones agro-écologiques pré-guinéenne (a) et soudanienne (b) du Mali entre 1950 et 2013.

3.2. Analyse des paramètres de la saison des pluies

L'analyse indique une relative stabilité de DDSP et DFSP dans les deux zones étudiées (figure 3). Par contre, par rapport aux autres paramètres, les variations sont largement au-dessus du seuil de 5 % entre les sous-périodes 1950-1970 et 1971-1993 (Δ1), et celles pour 1971-1993 et 1994-2013 (Δ2). Ces paramètres représentent le plus important rique pour l'agriculture pluviale régionale dans la Mali-Sud. Cela s'accorde avec les conclusions d'études ponctuelles ménées dans différentes localités du Mali (Diawara *et al*., 2019, 2022) et en Afrique de l'Ouest et au Sahel (Nassourou et *al*., 2018 ; Salack et *al*., 2020).

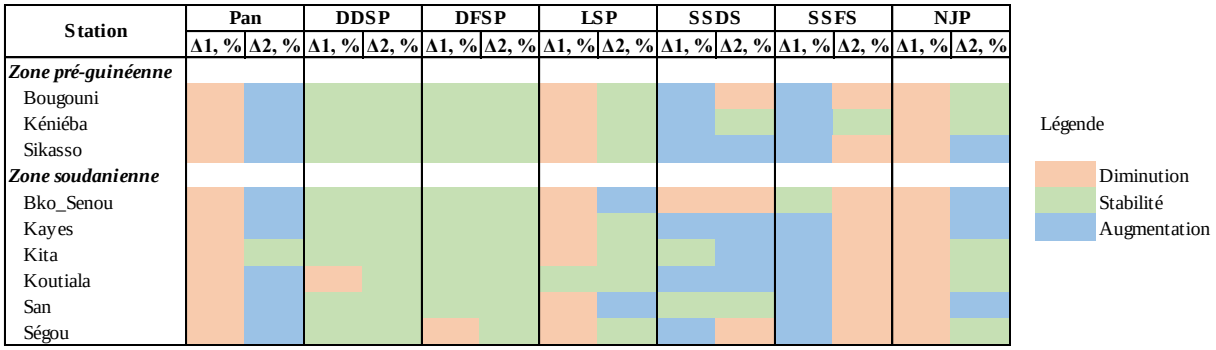


Figure 3. Variation des paramètres agroclimatiques (Δ1 – entre 1950-1970 et 1971-1993 ; Δ2 – entre 1971-1993 et 1994-2013) dans les stations des zones agro-écologiques pré-guinéenne et soudanienne du Mali.

Conclusion

Cette étude porte sur la dynamique spatiotemporelle des paramètres agroclimatiques dans les zones pré-guinéenne et soudanienne du Mali. Elle a permis d'identifier trois sous-périodes cohérentes (1950-1970, 1971-1993 et 1994-2018), la première se caractérisant par une abondance des précipitations, la seconde par une prédominance des déficits et la dernière par une variabilité accrue entre déficits et excédents. En outre, elle a révélé que les paramètres de la saison des pluies les plus instables sont sa longueur, les séquences sèches, le nombre de jours de pluie et le cumul pluviométrique annuel, leur compréhension étant cruciale pour pouvoir développer des stratégies agricoles et socio-économiques adaptées. Cette étude aboutit à des résultats à l'échelle du Mali qui pourront servir de repère pour orienter des actions de renforcement de la résilience des producteurs.

Bibliographie

CILSS/AGRHYMET, 2010 : *Bulletin Mensuel (Numéro spécial) : Le Sahel face aux changements climatiques / Enjeux pour un développement durable*. 42 pages.

Boyer J.-F., 2002 : Logiciel d'analyse statistique de séries chronologiques. UMR 5569 Hydrosciences Montpellier, IRD-Maison des Sciences de l'Eau.

CILSS/AGRHYMET, 2016 : *Bulletin Mensuel (Numéro spécial) : Lutte contre le changement climatique / les réalisations du CILSS*. 26 pages.

CIRAD, 2012 : *Un observatoire du réseau de l'observatoire des agricultures du monde : La zone cotonnière du Mali. Un rapport de l'Observatoire des Agricultures du Monde*. 38 pages.

Dan Ladi Tchoho M., Alhassane A., Gadedjisso-Tossou A., Tinni Halidou S. et Traoré S., 2025 : Caractérisation des risques agro-climatiques pour l'agriculture pluviale : impacts et stratégies d'adaptation utilisées dans sept communes rurales du Niger. *Afrique SCIENCE*, **26(2)**, 72-90.

Diawara H., 2019 : Analyse de l'évolution contemporaine de la température de l'air et des précipitations sur le territoire du Mali. *European Scientific Journal*, **15 (2)**, 154-168. https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n2p154

Diawara H., Coulibaly B. et Coulibaly S., 2019 : Impacts des changements climatiques sur les cultures sèches dans la commune rurale de Ouélésséboungou, cercle de Kati. *Les Cahiers du CBRST : Agriculture, Environnement et Sciences de l'Ingénieur*, **15**, 61-75.

Diawara H., Traore S. B., Traore O. et Coulibaly B., 2022 : Etat des lieux du Changement climatique et stratégies d'adaptation de l'agriculture paysanne : cas de la commune rurale de Bossofala dans la région de Koulikoro au Mali. In *Société Malienne des Sciences Appliquées – 13e Conférence MSAS* - Ségou, 31 juillet au 05 août 2022, 96-106. http://www.msas.ml/segou2022/ACTES_2022/MSAS2022_Proceedings_Vol2_Web.pdf

Diouf M., Nonguierma A., Abou A., Royer A. et Somé, B., 2000 : Lutte contre la sécheresse au Sahel : Acquis et perspective au Centre Régional Agrhymet. *Sécheresse*, **11**, 257-266.

Direction Nationale de la Météorologie (DNM), 2007 : *Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques*. 100 pages.

Faye C., Diop El Hadji S. et Mbaye I., 2015 : Impacts des changements de climat et des aménagements sur les ressources en eau du fleuve Sénégal : caractérisation et évolution des régimes hydrologiques de sous-bassins versants naturels et aménagés. *Belgeo*, **4**, 1-25. https://doi.org/10.4000/belgeo.17626

Ingram K. T., Roncoli M. C. et Kirshen P. H., 2002 : Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Agricultural Systems*, **74 (3)**, 331-349. https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00044-6

Lamb P., 1982 : Persistence of Subsaharan drought. *Nature*, **299**, 46-48. https://doi.org/10.1038/299046a0

Lubes-Niel H., Masson J. M., Paturel J. E. et Servat E., 1998 : Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, **11(3)**, 383-408.

Ndong J. B., 2003 : Caractérisation de la saison des pluies dans le centre-ouest du Sénégal. *Publication de l'Association Internationale de Climatologie*, **15**, 326-332

Nassourou L. M., Sarr B., Alhassane A., Traoré S. et Abdourahamane B., 2018 : Perception et observation : les principaux risques agro-climatique de l'agriculture pluviale dans l'ouest du Niger. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, **18(1)**. https://doi.org/10.4000/vertigo.20003

Nouaceur Z., 2020 : La reprise des pluies et la recrudescence des inondations en Afrique de l'Ouest sahélienne/Rain resumption and floods multiplication in western Sahelian Africa. *Physio-Géo*, **15**, 89-109. https://doi.org/10.4000/physio-geo.10966

Paturel J.-E., Servat E., Delattre M.O. et Lubes-Niel H., 1998 : Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique. *Hydrological Sciences Journal*, **43 (6)**, 937-946. https://doi.org/10.1080/02626669809492188

Salack S., Hien K., Lawson N. K. Z., Saley I. A., Paturel J.-E. et Waongo M., 2020 : Prévisibilité des faux-départs de saison agricole au Sahel. *In : Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest*/ IRD Éditions Sous la direction de B. Sultan, A. Y. Bossa, S. Salack, M. Sanon, 31-43.

Sivakumar M. V. K., 1988 : Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural Forest and Meteorology*, 42(4), 295-305. https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90039-1

Soumaré M., Traoré S. et Havard M., 2020 : Croissance démographique, sécurité alimentaire et accès à la santé et à l'éducation en zone cotonnière du Mali. *Cah. Agric*, **29,** 40. https://doi.org/10.1051/cagri/2020036

Stern R., Rijks D., Dale I. et Knock J., 2006 : *Instat Climatic Guide*. University of Reading, 322 pages

VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA COMMUNE DE DJIDJA AU CENTRE DU BENIN

Sèna Sandra DOBOLI[1], Pierre GAMBAROU DOGO[2] et Tchékpo Théodore ADJAKPA[3]

[1] *Etudiante en Master au Centre Interfacultaire de Formation et de Recherches en Environnement pour le Développement Durable de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (CIFRED/UAC); Email : sandradoboli@gmail.com ;*

[2]*Doctorant en Gestion de l'environnement, Ecole doctorale pluridisciplinaire/Espace Culture et Développement (EDP-ECD)/UAC, Bénin ; Mail : pierregambarou@gmail.com*

[3]*Maître de Conférences au Centre Interfacultaire de Formation et de Recherches en Environnement pour le Développement Durable de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (CIFRED/UAC) ; Email : adjakpatheo@yahoo.fr*

Résumé : *L'agriculture dans la Commune de Djidja est essentiellement pluviale, ce qui la rend vulnérable aux changements climatiques. Cette étude vise à étudier la vulnérabilité des paysans et à identifier les stratégies d'adaptation mises en place. Une enquête a été réalisée auprès des paysans avec l'outil kobocollecte, a permis de recueillir des informations auprès des paysans. La courbe des hauteurs pluviométriques et de température annuelle de la Commune montrent une variation significative des précipitations et de température moyenne entre 1963 et 2023. 80 % des enquêtés ont signalé une baisse des rendements, et 65 % une dégradation des sols. 60 % ajustent les dates de semis, 55 % utilisent des variétés résistantes à la sécheresse, et 50 % pratiquent des techniques de conservation des sols. Il est donc indispensable de promouvoir des pratiques agricoles innovantes et de renforcer les capacités des paysans par des formations continues.*

Mots-clés *: Commune de Djidja, agriculture, vulnérabilité, changements climatiques, baisse des rendements,*

Abstract *Agriculture in the Municipality of Djidja is primarily rain-fed, making it vulnerable to climate change. This study aims to examine farmers' vulnerability and identify adaptation strategies. A survey was conducted among farmers using the kobocollecte tool, which collected information from them. The curve of annual rainfall and temperature in the Municipality shows significant variations in average precipitation and temperature between 1963 and 2023. 80% of respondents reported a decline in yields, and 65% reported soil degradation. 60% adjusted planting dates, 55% used drought-resistant varieties, and 50% practiced soil conservation techniques. It is therefore essential to promote innovative agricultural practices and build farmers' capacities through ongoing training.*

Keywords*: Municipality of Djidja, agriculture, vulnerability, climate change, declining yields,*

Introduction

Traditionnellement considérés comme une question environnementale et énergétique, les changements climatiques sont maintenant aussi perçus comme une menace à la paix et à la sécurité internationales (O. Brown et A. Crawford, 2008, p. 54). Les populations rurales de l'Afrique subsaharienne sont particulièrement exposées aux aléas climatiques dans la mesure où elles sont étroitement dépendantes de l'agriculture pluviale qui occupe près de 93 % des terres cultivées (B. Sultan, 2013, p. 4).

Le Bénin, à l'instar des autres pays d'Afrique de l'Ouest, subit les effets néfastes de la variabilité et des changements climatiques dont les manifestations se traduisent par l'accentuation de la variabilité et la récurrence d'événements météorologiques extrêmes (inondations dévastatrices, longues sécheresses, vagues de chaleur, pluies torrentielles), la montée du niveau des mers, l'érosion côtière, les vents violents, les pluies tardives (O. Nikki, 2019, p. 85). La Commune de Djidja surnommée grenier du Sud Bénin n'est pas en marge des perturbations climatiques actuelles ayant des incidences sur la production agricole des paysans. D'où la quintessence de la présente étude en l'occurrence la vulnérabilité de l'agriculture face aux impacts des changements climatiques dans la Commune de Djidja.

1. Cadre d'étude, données et méthode

Cette partie comprend le milieu d'étude et les différentes données et les méthodes utilisées afin de mener à bien la présente étude.

1.1. Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans la partie centrale de la République du Bénin. Située au Nord-Est du département entre les parallèles 7°15'00'' et 7°45'00' de latitude nord d'une part et le méridien 1°45'00'' et 2°15'00'' de longitude est.

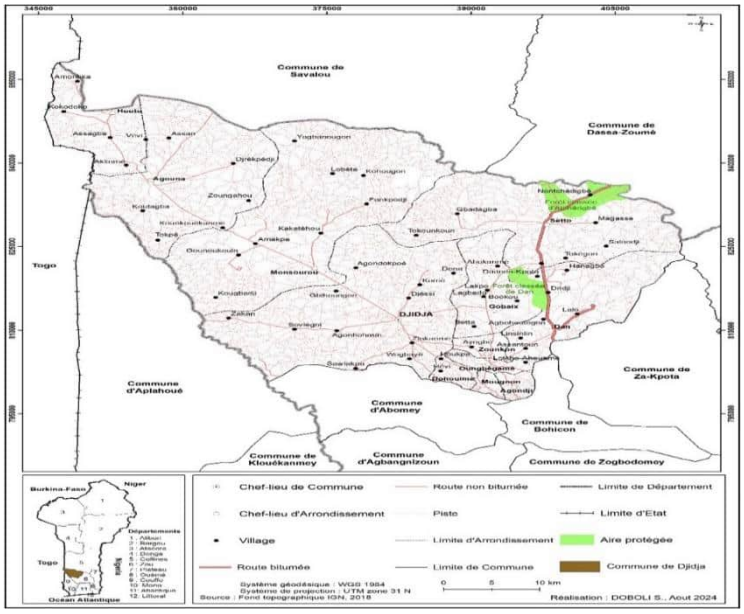


Figure 1. Situation géographique et administrative de la Commune de Djidja

La Commune de Djidja est limitée au sud par les Communes d'Abomey et de Bohicon, au sud- ouest par le Département du Couffo (Commune d'Aplahoué), à l'Est par la Commune de Za-Kpota et au nord par le Département des Collines (Communes de Dassa et Savalou) et couvre une superficie de 2184 km² soit 41,66 % de la superficie totale du Département du Zou. La Commune est subdivisée en soixante-dix-neuf (79) villages regroupés dans douze (12) Arrondissements qui sont : Djidja, Setto, Dan, Agouna, Oungbègamè, Mougnon, Monsourou, Zounkon, Agondji, Dohouimè, Outo et Gobe. (R. Ogouwalé 2020, p. 153).

2. Données utilisées

Les données recueillies au cours de la recherche sur le terrain se composent principalement de données qualitatives, mais également quantitatives. Elles englobent les informations pertinentes pour une compréhension approfondie des différents aspects de la problématique étudiée. Les données climatiques telles que la pluviométrie, la température, et d'autres paramètres ont été recueillies sur la période s'étendant de 1983 à 2023, à partir de la station synoptique de Bohicon, située à 07°10' de latitude Nord et 02°04' de longitude Est, à une altitude de 166 mètres. Ces données ont été fournies par la Direction Nationale de la Météo (DNM) de la METEO BENIN.

2.3 Méthodes et traitement des données

Un questionnaire structuré a été utilisé pour l'enquête auprès des paysans. Les paysans ont été interrogés sur les indicateurs de vulnérabilité, leurs perceptions et leurs mesures d'adaptation aux changements climatiques, en se concentrant notamment sur la culture du maïs, principale céréale cultivée dans la région, mais aussi sur l'arachide, le niebe et le coton.

Compte tenu de ces critères de sélection, la taille minimum de l'échantillon (Tme) est déterminée suivant la formule probabiliste de Schwartz (1995).

$$\mathbf{Tme = (t^2 \times pq / m^2)}$$

La moyenne a été le paramètre utilisé pour caractériser l'état climatique moyen (annuel et mensuel)

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^{n} (x_i)$$

X: Somme des hauteurs pluviométriques ; n= nombre d'années sur la normale considérée. La moyenne arithmétique a été utilisée pour l'étude des régimes climatiques et hydrologiques sur une série de données de 1981-2021 pour la caractérisation climatique. Elle permet le calcul de certains paramètres de dispersion. Les anomalies centrées et réduites ont été calculées avec le protocole statistique : $\lambda = \boldsymbol{X} - \bar{\mathbf{X}}$ avec x le cumul moyen annuel des hauteurs de pluie pour

σ

L'année i ; $\bar{X}$ et σ représentent respectivement, la moyenne et l'écart type de la série considérée. La statistique descriptive par l'analyse factorielle des composantes a été mise à contribution pour le traitement et l'analyse des données relatives aux changements climatiques et leurs incidences sur la production agricole.

3.Résultats

3.1. Conditions climatiques

Le climat de la Commune de Djidja est principalement de type subéquatorial mais tend vers le Soudano-Guinéen dans les parties septentrionales où on remarque que les deux saisons pluvieuses se résument pratiquement en une seule.

3.1.1. Variabilité pluviométrique de la Commune de Djidja

Le régime pluviométrique de la station du secteur d'étude a été calculé à partir des moyennes mensuelles matérialisées par la figure 2.

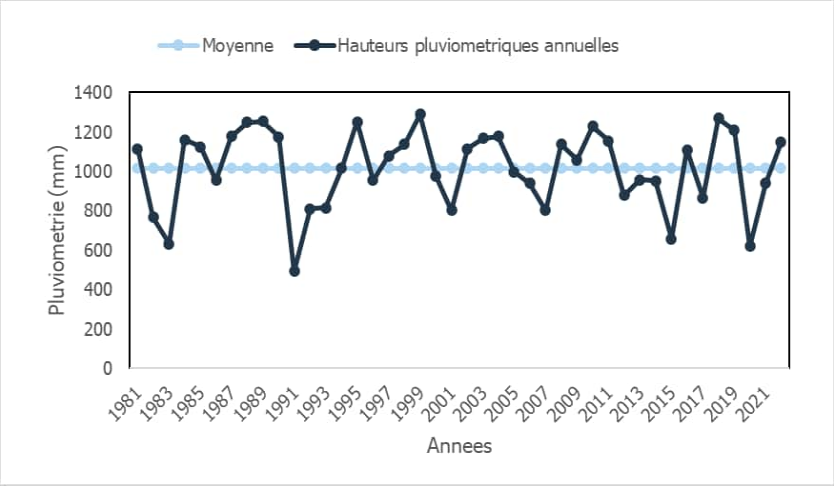


Figure 2. Variabilité pluviométrique moyen inter annuel de 1981 à 2021 / Source : Traitement des données Météo-Bénin, mai 2023

La figure 2 représente les hauteurs pluviométriques annuelles et la moyenne des précipitations pour la Commune de Djidja au sud du Bénin sur une période de 40 ans (1981-2021). La courbe des hauteurs pluviométriques annuelles montre une variation significative des précipitations d'année en année. Certaines années, comme 1984, 1992, 1993, 2001, et 2015,

présentent des précipitations nettement inférieures à la moyenne, indiquant des périodes de sécheresse ou de faible pluviométrie.

3.1.2. Variabilité interannuelle des températures Commune de Djidja

La Figure 3 traduit l'évolution interannuelle des températures moyennes dans la Commune de Djidja sur la période 1983-2023.

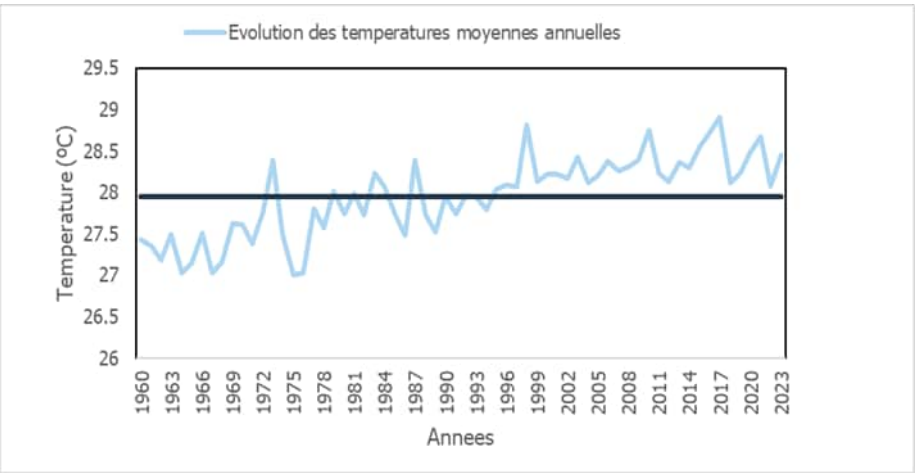


Figure 3. Evolution des températures moyennes annuelles / **Source** : Traitement de données de Météo Benin, avril 2023

La figure 3 mon qu'il existe une tendance générale à la hausse des températures moyennes annuelles sur la période de 1960 à 2023. Cette augmentation est particulièrement visible à partir des années 1996, indiquant un réchauffement climatique dans la région. L'augmentation des températures moyennes annuelles et la variabilité peuvent impacter les rendements agricoles. Des températures plus élevées augmentent l'évapotranspiration, réduisant ainsi la disponibilité en eau pour les cultures. De plus, certains stades de croissance des plantes sont particulièrement sensibles à la chaleur.

3.2 Impacts des changements climatiques sur l'agriculture

Depuis le milieu des années 2000, en particulier après 2006, les saisons des pluies sont devenues plus courtes, mais beaucoup plus intenses. Les producteurs rapportent des pluies torrentielles concentrées sur une période plus réduite, ce qui entraîne des inondations dans plusieurs zones de la Commune. L'année 2007 a été marquée par des inondations dévastatrices, provoquant la destruction de nombreuses cultures et l'érosion des sols. Ces excès pluviométriques ne permettent pas aux sols de bien absorber l'eau, provoquant des phénomènes d'inondation qui compromettent la saison agricole.

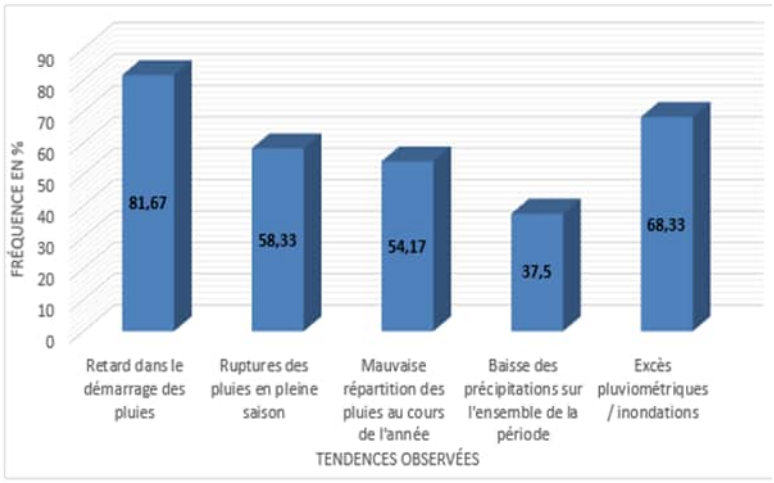


Figure 4 : Conséquences des changements climatiques sur la production agricole dans la Commune de Djidja/**Source** : Résultats d'enquête de terrain, avril 2024

Les agriculteurs constatent une forte irrégularité des pluies depuis 40 ans, marquée par des retards de saison, des sécheresses, des inondations et des vents violents, ce qui perturbe les semis, accroît le stress hydrique, dégrade les sols et compromet les rendements agricoles. La planche 1 montre l'impact des changements climatiques sur les cultures.



Planche 1 : Vue partielle des cultures inondée à Agouna (Photo 1.1 : Vue partielle d'un champ de zea mays (maïs) inondé à Agouna et Photo 1.2 : Vue partielle d'un champ de Goossypium hirsutum (coton) semé il a deux semaines inondées a Agouna)

Source : Prise de vues, Doboli, juin 2024

La planche 1 montre la vulnérabilité des cultures de maïs et de très jeunes plants coton (le coton a été absorbé par l'eau) aux conditions climatiques extrêmes, telles que les inondations et les vents violents, soulignant l'urgence d'adopter des mesures d'adaptation pour préserver les rendements, les revenus agricoles et la sécurité alimentaire.

4- Discussion

L'étude montre que l'agriculture pluviale dans la Commune de Djidja est fortement affectée par les changements climatiques, notamment les variations de précipitations qui perturbent la production des cultures vivrières dominantes telles que le maïs, le manioc, l'igname et le

sorgho. Ces résultats concordent avec ceux d'E. Agbossou et *al*. (2010, p.23), qui classent le maïs parmi les cultures les plus sensibles avec un coefficient d'exposition de 83 % aux extrêmes climatiques. De même, G. L. Djohy et *al*. (2015, p.185) soulignent que les variations climatiques sont un facteur limitant majeur pour la production du maïs. K. Amoussou (2022, p.125) affirme que, bien que les systèmes pluviaux soient adaptés localement, leur vulnérabilité face au climat représente un défi important. Toguyeni *et al*. (2022, p.83) notent que le manque de semences améliorées et la faible fertilisation réduisent la productivité. S. Hounkpe (2019, p.112) observe que les changements climatiques aggravent la vulnérabilité des systèmes agricoles à Djidja, entraînant des pertes de rendement et la dégradation des sols. Selon B. Noudomessi (2019, p.45), la coupe abusive des arbres et la carbonisation favorisent les sécheresses et menacent la sécurité alimentaire à moyen et long terme.

Référence Bibliographique

ADJAKPA Tchékpo Théodore (2016) : Gestion des risques hydro-pluviometriques dans la vallée du Niger au Bénin : cas des inondations des années 2010, 2012 et 2013 dans les Communes de Malanville et de Karimama, Thèse de Doctorat en Géographie Université d'Abomey-Calavi, EDP/UAC, 288 p.

AGBOSSOU Euloge, Thierry AGOSSOU Serge Aballo CODJO, Charles Codjo ACAKPO, Byll O. Kperou GADO, Emmanuel Femi HOUNNOU, Jonas LUCKMANN, Ferike THOM, Mariam Diane TOURE, Firmin VLAVONOU, Jan VOLKHOLZ, Victorine Yorou (2010) : Impacts des changements climatiques sur l'agriculture au Bénin. Article scientifique publie dans la revue *Agricultural Systems*, 45 p.

AMOUSSOU Komlan (2022) : Les défis de l'agriculture traditionnelle face aux changements climatiques), Mémoire de Master en Agronomie Université de Lomé, 130 p.

BROWN Olivia et Crawford Alex (2008), Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest - Étude de cas nationale du Ghana et du Burkina Faso, Institut International du Développement Durable, Rapport de recherche, 62 p.

DJOHY Gildas Louis, KPADONOU G. Esaïe, SOUNON BOUKO Boni KPAN O.J. Gautier (2015) : Variabilités et changements pluvio-thermiques dans le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin, article de recherche scientifique publié dans la *revue AFLASH*, Université de Parakou 330 p.

DOGBE Emmanuel (2021) : Politiques de soutien agricole et résilience face aux aléas climatiques, publication de recherche, Cotonou, Bénin 136 p.

GOUWALE Olurotimi. (2006) : Stratégies de prévention et d'adaptation face à la variabilité hydro climatique dans les activités agricoles, Université de Lagos, Nigeria, 150 p.

HOUNKPE Serge (2019) : Vulnérabilité de la production agricole en contexte de changements climatiques, Mémoire de master en Géographie et Aménagement du Territoire FLASH/UAC, 330 p.

NIKKI Orou (2019) : Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes de développement". Thèse de Doctorat en Climatologie, Université d'Abomey-Calavi, 120 p.

OGOUWALÉ Euloge (2006) : Changement climatique dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et perspectives de la sécurité alimentaire, Thèse de Doctorat en Géographie Physique et Environnementale, 302 p.

OGOUWALE Romaric (2020) : Déterminants hydro climatiques et production vivrière dans la Commune de Djidja au Bénin, Article de Journal Afrique Sciences, 13 p.

SCHWARTZ Daniel (1995) : Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 4è édition, Editions médicales, Flammarion, Paris, 314 pages.

SOKPON Rodrigue (2019) : Élevage traditionnel et agriculture en zone rurale, Article de Journal OpenEdition Journals, Marseille, en France 22 p.

SULTAN Benjamin (2013) : Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian, *Article de Journal Environmental Research Letters*, Royaume-Uni, 9 p.

YEHOUENOU Bernard (2018) : (Ressources limitées et assistance technique en agriculture), Rapport affilié au Centre Béninois pour le Développement des Initiatives à la Base (CEBEDES), 45 p.

VARIABILITE CLIMATIQUE ET PRODUCTION OLEICOLE DANS LA REGION DE SFAX : CAS DE LA DELEGATION D'AGAREB (TUNISIE CENTRALE)

Mohamed FEKI, Jalel BEN ROUINA

Laboratoire « SYFACTE », Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, route de l'aéroport km 4, Sfax Tunisie : m_feki@hotmail.com

Résumé *: Une analyse des corrélations (Pearson et Spearman) entre les rendements oléicoles en mode pluvial et des paramètres climatiques dans la délégation d'Agareb du gouvernorat de Sfax (Centre-Est de la Tunisie) montre le rôle déterminant des pluies reçues entre septembre et avril aux différents pas de temps (du semestre à la décade) sur la production. Cette analyse met l'accent également sur l'impact négatif de la hausse des Tx et du stress hydrique (ETR-ETP, P-ETP et Tx) au mois de décembre et sur les rendements. La prédiction de ces derniers réalisée à partir des régressions multiples pas à pas à 5 % d'erreur, souligne leurs dépendances aux faibles quantités de pluies en début décembre (1ère décade) ainsi qu'au milieu de février et d'avril (2ème décade), à la douceur nocturne en début janvier et à la fraîcheur diurne en fin décembre. La hausse des températures maximales en décembre et la baisse des pluies hivernales posent la question de la durabilité du secteur oléicole.*

Mots-clés : productions oléicole, Tunisie, variabilité pluvio-thermique, prédiction.

Abstract*: An analysis of correlations (Pearson and Spearman) between rainfed olive yields and climatic parameters in the Agareb delegation of the Sfax governorate (central-eastern Tunisia) shows the decisive role of rainfall between September and April at different time steps (from half-year to 10-day period) on production. This analysis also highlights the negative impact on yields of the high Tx and water stress (ETR-ETP, P-ETP and Tx) in December. Yield predictions based on stepwise multiple regressions with 5% error show their dependence on low rainfall in early December (1st 10-day period), mid-February and mid-April (2nd 10-day period), mild nights in early January and cool days in late December. The increased maximum temperatures in December and reduced winter rainfall raise questions about the sustainability of the olive-growing sector.*

Keywords: *olive production, Tunisia, rain-thermal variability, prediction.*

Introduction

Située au sud de la Méditerranée, la Tunisie est l'un des principaux pays producteurs et exportateurs d'huile d'olive, derrière l'Italie et l'Espagne. Les plantations oléicoles contiennent plus de 100 millions de pieds dispersés sur une superficie de 2 millions d'hectares (DGPA, 2022). Le secteur oléicole représente l'activité principale pour 60 % des agriculteurs et 20 % de l'emploi dans l'agriculture. Cependant, la production oléicole connait de fortes fluctuations interannuelles en raison de la variabilité des précipitations à laquelle s'ajoutent la sécheresse et l'aridité affectant le Centre et le Sud du pays, où la majorité des oliviers sont cultivés en mode pluvial (Ben Rouina, 2025).

La région de Sfax, située au Centre-Est de la Tunisie, constitue une zone oléicole majeure à l'échelle nationale, avec 20 % des terres cultivées (dont 98 % en mode pluvial) et 10 % du nombre total d'oliviers. Jusqu'au 2020, elle occupait le premier rang au niveau de la production nationale. Toutefois, la sécheresse qui a sévit depuis 2020 a entrainé une baisse de la production, faisant reculer la région derrière les gouvernorats de Kairouan et de Sidi Bouzid. Cette situation s'explique, en partie, par la mauvaise qualité (saumâtre) des nappes profondes de Sfax qui limite les possibilités d'intensifier un système oléicole irrigué. Malgré cette baisse de production, la région garde toujours son statut de premier exportateur d'huile d'olive du pays grâce à sa grande capacité de pressage, atteignant en moyenne 10 000 tonnes par jour, ce qui attire les producteurs des régions voisines (DGPA, 2022).

Dans ce contexte, il est intéressant d'évaluer l'impact du climat sur la production oléicole, particulièrement dans le cadre actuel du changement climatique. Cette étude

repose sur une série chronologique couvrant 23 années, de septembre 2000/01 à août 2022/23 dans la délégation d'Agareb, située à l'ouest de la ville de Sfax. L'objectif principal est d'identifier les indicateurs climatiques les plus pertinents pour expliquer les variations de la production oléicole en mode pluvial. Il s'agit également de développer un modèle de prévision des récoltes, afin d'optimiser la gestion de la filière oléicole. Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le Département de géographie et l'Institut de l'Olivier, visant à étudier l'impact du climat sur la phénologie et la productivité de l'olivier et des cultures arboricoles (Elloumi *et al.*, 2023, 2024 ; Feki et Charfi, 2025).

1. Données et méthodes

1.1. Région d'étude

La délégation d'Agareb est localisée à 20 km à l'ouest de la ville de Sfax et à une vingtaine de kilomètres de la mer. Il s'agit d'un plateau dont l'altitude varie entre 80 et 100 m. Sa surface est loin d'être régulière à cause des nombreux oueds qui la traversent. En 2023, Les superficies oléicoles y occupaient 38 959 ha, soit 50 % de la superficie totale de la délégation et 11,2 % de la superficie oléicole du gouvernorat de Sfax.

D'un point de vue structural, la zone d'étude est située sur un pseudo-anticlinal érodé depuis le début du quaternaire.

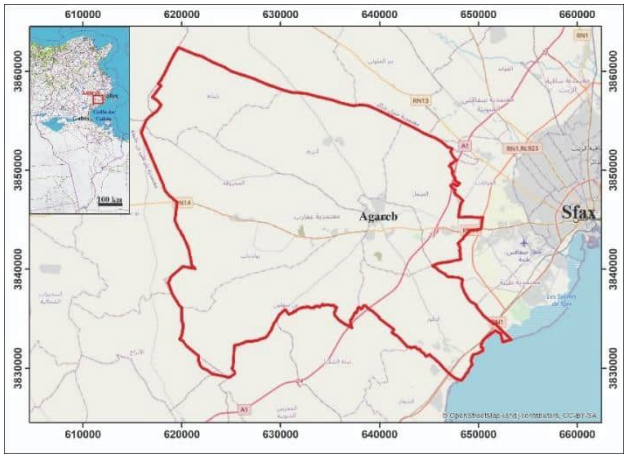


Figure 1. Localisation de la région d'étude.

Les précipitations moyennes annuelles y sont de 200 mm, mais avec une grande variabilité interannuelle puisqu'elles ont oscillé entre un minimum de 60 mm en 1973-74 et un maximum de 458 mm en 1989-90 (figure 2). Le climat de la région est de type aride supérieur avec une variante tempérée, selon la classification d'Emberger, Il se caractérise par un important déficit hydrique annuel atteignant environ 1200 mm, notamment durant la saison estivale. Ce déficit tend toutefois à se réduire considérablement en décembre et janvier, mois les plus froids de l'année (figure 3).

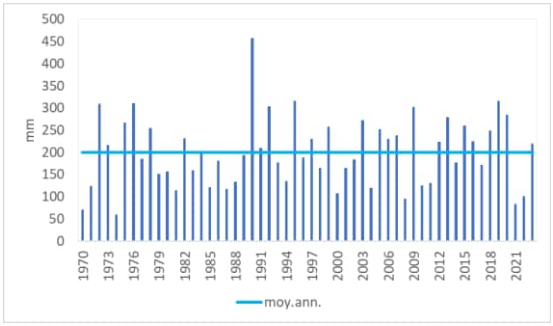


Figure 2. Variabilité des pluies annuelles à Agareb de 1969-70 à 2022-23 (source des données : Institut National de la Météorologie).

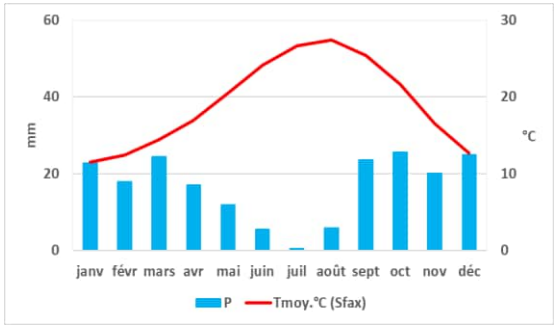


Figure 3. Diagramme ombrothermique de la station d'Agareb pour la moyenne 1969-2023 (source des données : Institut National de la Météorologie).

1.2. Les données

Les données oléicoles utilisées dans ce travail concernent les productions (en tonnes) et superficies annuelles (en hectares) de la délégation d'Agareb. Elles ont été fournies par le Commissariat Régionale de Développement Agricole de Sfax (CRDA, ministère de l'Agriculture). Bien que ces données remontent à 1980, elles présentent de nombreuses lacunes durant la décennie 1990. C'est pour cette raison que cette étude s'est concentrée sur la période non lacunaire 2001-2023.

Les données climatiques utilisées dans cette étude ont été fournies par l'Institut National de la Météorologie (INM). Elles correspondent aux observations quotidiennes moyennes des températures (minimales et maximales), de l'humidité relative, ainsi que de la vitesse et de la direction du vent, enregistrées à la station synoptique de l'aéroport de Sfax. Bien que cette station soit située en moyenne à 25 km des principales zones oléicoles, elle est considérée a priori comme représentative du climat régional, en raison de l'absence d'obstacles topographiques majeurs susceptibles de limiter l'influence maritime. Les données pluviométriques journalières de la station d'Agareb, située au centre de la ville, ont également été utilisées.

1.3. Méthodes

Cette étude vise à identifier les indicateurs climatiques les plus pertinents pour expliquer l'impact de la variabilité climatique sur les fluctuations interannuelles de la production oléicole. À partir des données disponibles sur la production et les superficies oléicoles, les rendements annuels à l'hectare ont été calculés. Ces derniers sont considérés comme l'indicateur le plus fiable des interactions entre les composantes climatiques, les pratiques culturales et les caractéristiques pédologiques (Douguédroit et Messaoudi, 1998).

Les données climatiques journalières ont permis de calculer l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR) et le déficit hydrique (ETR – ETP). Elles ont conduit à la constitution d'un jeu de données comprenant 110 variables de cumuls pluviométriques, thermiques et agroclimatiques, couvrant toutes les combinaisons temporelles possibles, allant de 12 mois à 10 jours. Ces variables ont été réparties selon deux découpages temporels : l'année agricole (de septembre à août) et l'année civile (de janvier à décembre).

Dans un second temps, une série de corrélations linéaires bivariées a été effectuée entre les rendements annuels (2001-2023) et les variables climatiques, en utilisant les coefficients de Bravais-Pearson (r) et de Spearman (ρ), au seuil de signification 5 %. Les variables présentant des corrélations significatives ont été retenues comme prédicteurs dans un modèle de régression linéaire multiple pas à pas descendante (Arfaoui *et al.*, 2021 ; Feki et Charfi, 2025).

Le modèle obtenu a été évalué à l'aide de la procédure de validation croisée *Leave-One-Out Cross-Validation* (LOOCV ; Maraun et Widmann, 2018). Cette méthode consiste à utiliser, à chaque itération, une seule observation comme échantillon de test, les autres étant utilisées pour l'entraînement. L'opération est répétée *n* fois (où *n* est le nombre total d'observations), en excluant à chaque fois une observation différente. La performance du modèle a été évaluée en comparant les résultats issus de la validation croisée à ceux du modèle initial, à l'aide d'indicateurs statistiques tels que le coefficient de détermination (R^2), l'erreur moyenne absolue (MAE) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE).

2. Résultats

2.1. Variabilité interannuelle des rendements oléicoles

La figure 4 présente l'évolution des rendements oléicoles en culture pluviale dans la délégation d'Agareb sur la période 2001-2023. Elle met en évidence une forte variabilité interannuelle, avec des oscillations comprises entre 0,7 à 15 q/ha. Elle montre également que le

rendement moyen, de 4,9 q/ha, est surestimé par rapport à la valeur médiane qui n'atteint que 2,9 q/ha. La courbe, en forme en dents de scie, reflète bien l'irrégularité de la production qui peut être expliquée par deux facteurs principaux : la forte dépendance pluviométrique de la production et le phénomène de l'alternance, spécificité physiologique de l'olivier qui produit généralement une année sur deux (Kour *et al.*, 2018)

D'ailleurs, l'indice d'alternance de Pearce et Dobersek-Urbanc (1967) qui contrôle la stabilité de la production (0 indiquant l'absence d'alternance et 1 une alternance complète) est de l'ordre 0,48 dans la zone d'étude. Ainsi, les années 2003-04, 2014-15 et 2017-18 ont enregistré des rendements moyens exceptionnels dépassant 10 q/ha. En revanche, les années 2001-02, 2002-03 et 2022-23 ont été marquées par des rendements très faibles, atteignant une moyenne de 1 q/ha. Ce rendement moyen était encore plus bas en 2000-01 avec 0,7 q/ha.

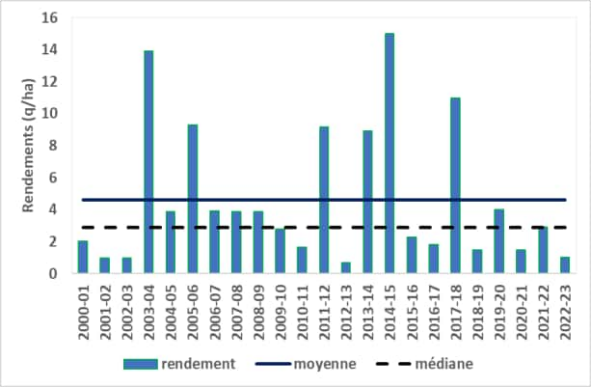


Figure 4. Variations des rendements oléicoles dans la région d'Agareb entre 2001 et 2023 (source des données : CRDA).

2.2. Relations entre climat et rendements oléicoles

L'analyse des corrélations entre les rendements annuels de l'olivier et les cumuls pluviométriques, calculés à différents pas de temps (allant de la période de 7 mois à l'échelle décadaire) sur une série chronologique de 23 campagnes agricoles (2000-2001 à 2022-2023), met en évidence une sensibilité notable de la production aux variations intra-annuelles des précipitations. Certaines périodes se révèlent particulièrement influentes, comme en témoignent des coefficients de corrélation significatifs au seuil de 5 %, selon les tests de Bravais-Pearson et de Spearman, avec des valeurs oscillantes entre ±0,41 et ±0,67. Le tableau 1 met l'accent sur l'influence déterminante des précipitations reçues entre septembre et avril, toutes combinaisons temporelles confondues, sur les rendements oléicoles dans la délégation d'Agareb.

Tableau 1. Corrélations significatives (5 %) entre précipitations (cumulées par période) et rendements dans la région d'Agareb entre 2000-01 et 2022-23.

Cumul pluviométrique par période	Test de corrélation	
	r	rho
De septembre à mai	0,49	0,53
D'octobre à février	0,48	0,52
D'octobre à mars	0,57	0,61
De novembre mars	0,55	0,61
D'octobre à avril	0,49	0,58
De novembre à février	0,46	0,51
De décembre à février	0,50	0,52
D'avril à mai	-0,46	-0,51
1ère décade de décembre	0,60	0,51
2ème décade de février	0,60	0,60
2ème décade d'avril	0,53	0,54
3ème décade de mai	-0,43	-0,54

À l'échelle saisonnière, les précipitations hivernales et/ou reçues entre novembre et février, présentent les corrélations les plus élevées avec les rendements. En revanche, celles enregistrées

durant le bimestre avril-mai présentent une corrélation négative significative, suggérant un effet potentiellement défavorable sur la production. À l'échelle mensuelle, aucune corrélation significative n'a été détectée. Cependant, l'analyse décadaire révèle des relations plus marquées. Les précipitations de la première décade de décembre, ainsi que celles des deuxièmes décades de février et d'avril, s'avèrent être les plus fortement corrélées aux rendements. À l'inverse, les précipitations de la troisième décade de mai semblent exercer un effet légèrement négatif sur ces derniers.

Le tableau 2 montre l'impact négatif du cumul décadaire du déficit hydrique sur les rendements, en particulier au cours de la première et de la deuxième décade de décembre, comme en témoignent les corrélations négatives observées. Par ailleurs, l'augmentation de la somme des températures maximales journalières en décembre, notamment durant la troisième décade, s'accompagne d'une élévation de l'ETP, d'une accentuation du déficit hydrique (ETR – ETP) et d'une réduction du froid hivernal. En revanche, les températures minimales douces au cours de la première décade de janvier semblent avoir un effet favorable sur les rendements.

Tableau 2. Corrélations significatives au seuil de 5 % entre les cumuls des indicateurs thermiques et agroclimatiques et les rendements dans la région d'Agareb sur la période 2000-2001 à 2022-2023 (coeff = coefficient ; r = Pearson ; ρ = Spearman ; 1, 2, 3 = numéro de la décade).

Coeff.	Cumul mensuel et décadaire des indicateurs thermiques et agroclimatiques						
	Décembre Tx	Décembre ETR-ETP	Décembre 1 P-ETP	Décembre 2 ETR-ETP	Décembre 3 ETP	Décembre 3 Tx	Janvier 2 Tn
r	-0,49	-0,45	-0,65	-0,67	-0,46	-0,53	0,48
rho	-0,51	-0,45	-0,54	-0,62	-0,47	-0,51	0,40

2.3. Prédiction des rendements oléicoles

Les covariabilités entre rendements oléicoles et variations du climat ont été modélisées à l'aide d'une régression linéaire multiple pas à pas descendante, en utilisant comme prédicteurs les variables climatiques présentées dans les tableaux 1 et 2. L'équation finale du modèle, validée par une procédure de validation croisée, a retenu comme prédicteurs les cumuls décadaires des indicateurs pluviométriques, thermiques et agroclimatiques :

$$Rendement\ (q/ha) = 2,6 + 0,3*décembre1\ P + 0,5*février2\ P + 0,2*avril2\ P - 0,05*mai3\ P - 0,05*décembre3\ Tx + 0,1*janvier1Tn$$

Où P = cumul des pluies ; Tx = somme des températures maximales ; Tn = somme des températures minimales ; 1, 2 et 3, les numéros des décades.

Le modèle de prédiction s'avère très performant et robuste, expliquant plus de 90 % de la variance totale des rendements dans la délégation d'Agareb (R^2 et R^2 ajusté valant 0,95). L'erreur quadratique moyenne (RMSE) ainsi que l'erreur moyenne absolue (MAE) sont relativement faibles, de 0,8 à 0,6 q/ha, respectivement, ce qui représente une erreur de ± 12 et 16 % du rendement moyen.

Les coefficients de corrélation partielle mettent en évidence l'importance des pluies de début décembre, de mi-février et de mi-avril (avec des valeurs respectives de 0,95, 0,93 et 0,83), en lien avec des phénophases clés de l'olivier. En effet, les précipitations sont très bénéfiques à l'olivier pendant les stades de repos végétatif durant lesquels l'arbre est en dormance (décembre), de réveil végétatif (février) et de gonflement des boutons floraux (avril). En revanche, les pluies de fin mai, en pleine période de floraison, s'avèrent relativement néfastes pour l'olivier (-0,60). Par ailleurs, les températures diurnes de fin décembre doivent rester fraîches (-0,57) pour permettre à l'arbre de satisfaire ses besoins en froid.

Enfin, la douceur nocturne en début janvier (0,75) favorise l'accumulation progressive de chaleur, nécessaire à la levée de dormance. Ces résultats diffèrent de ceux obtenus par Mzoughi (2023) dans la région voisine de Menzel Chakeur, où les pluies automnales jouent un rôle déterminant dans la production oléicole. Cette divergence pourrait s'expliquer par la nature sablonneuse des sols à Menzel Chakeur, par l'âge des oliviers, ainsi que par le phénomène d'alternance, caractérisé par des années de production opposées dans les deux régions.

Conclusion

Les variations de la production et des rendements oléicoles dans la région d'Agareb sont principalement influencées par la variabilité des cumuls pluviométriques décadaires en hiver et au printemps (à l'exception du mois de mai). Ces fluctuations devraient s'accentuer avec le changement climatique, d'autant que les précipitations hivernales enregistrées à la station d'Agareb ont diminué depuis 1997, tandis que celles du printemps ont augmenté. À cela s'ajoute une hausse des températures en décembre, entraînant une réduction du froid hivernal (Ben Rouina, 2025). Le modèle statistique linéaire actuel devrait être amélioré en intégrant d'autres indicateurs liés à la phénologie tels que les dates de débourrement, de début et de fin de floraison ainsi que des variables climatiques comme le nombre de jours de sirocco ou l'intensité du vent en période de floraison.

Bibliographie

Arfaoui F., Cohen M., Oudin L., Ronchail J., 2021 : Évolution, modélisation et cartographie des rendements de l'oliveraie dans la province de Jaen en Espagne (1959-2018). *Climatologie*, **18**, https://doi.org/10.1051/climat/202118004

Ben Rouina J., 2025 : *Variabilité climatique et oléiculture dans le contexte actuel du changement climatique : le cas de la délégation d'Agareb*. Mémoire de master TDA, Université de Sfax, 70 p.

Direction Générale de la Production Agricole (DGPA), 2022 : Tableau de bord de la filière oléicole en Tunisie : Campagne 2021/2022. Ministère de l'Agriculture, 3 p.

Douguédroit A. & Messaoudi A., 1998 : Essai de prédiction des rendements des céréales dans le Maroc du Centre-ouest. *Méditerranée*, **88**, 45-49.

Elloumi O., Benmoussa H., Feki M., 2024 : Assessing agroclimatic requirements and modeling olive phenophase events in warm and sub-arid climate areas. *Theor. Appl. Climatol.,* **155**, 8587-8598. https://doi.org/10.1007/s00704-024-05139-7

Elloumi O., Benmoussa H., Feki M., Ben Mimoun M., Ghrab M., 2023 : Agro-climatic requirements and reproductive potentials of pistachio pollinator specimens grown in warm area in North Africa. *Scientia Horticulturae,* **325**, 112649. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112649

Feki M. & Charfi S., 2025 : Evolution pluvio-bioclimatique et modélisation de la production oléicole à Sidi Aïch (gouvernorat de Gafsa, Tunisie méridionale). *Géographie et développement* (sous presse).

Kour D., Akshi B., Wali V.K., Sharma N., Sharma A., Iqbal M., 2018 : Alternate Bearing in Olive - A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, **7 (9)**, 2281-2297. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.709.283

Maraun D. & Widmann M., 2018 : Cross-validation of bias-corrected climate simulations is misleading. *Hydrology and Earth System Sciences,* **22**, 4867-4873. 10.5194/hess-22-4867-2018

Mzoughi M., 2023 : *L'oléiculture en régions semi-arides : variabilité de la production et climat, milieu physique et pratiques agricoles. Le cas de la délégation de Menzel Chaker (Tunisie centrale)*. Thèse de Doctorat, Université Paris Cité, 262 p.

Pearce S. C. & Doberšek-Urbanc S., 1967 : The Measurement of Irregularity in Growth and Cropping. *J. Hort. Sci.* **42**, 295-305. https://doi.org/10.1080/00221589.1967.11514216

TRAJECTOIRES DES IMPACTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS ET DU RIZ PLUVIAL AU BURKINA FASO À L'HORIZON 2050 : ESTIMATION BASEE SUR LES DONNES DES MODÈLES CMIP6.

Koufanou HIEN[1], Florence DELONGUEVILLE[2], Salack SEYNI[3], Pierre OZER[4]

[1] *Laboratoire RiCHES, UR Sphères, Université de Liège, Belgique, khien@uliege.be*

[2] *Département de Géographie, Université de Namur, Belgique, florence.delongueville@unamur.be*

[3] *Centre de compétences WASCAL, Ouagadougou, Burkina Faso, salack.s@wascal.org*

[4] *Laboratoire RiCHES, UR Sphères, Université de Liège, Belgique, pozer@uliege.be*

Résumé : *Au Burkina Faso, la production du maïs et du riz, essentielle pour la sécurité alimentaire des ménages, fait face aux défis croissants du changement climatique. Cette étude évalue les impacts des trajectoires (agro)climatiques sur la productivité de ces deux céréales pluviales à l'horizon 2050 aux échelles nationales et locales, en utilisant le modèle DSSAT-CSM couplé à R, 10 modèles climatiques NEX-GDDP-CMIP6, 2 scénarios climatiques futurs (SSP2-4.5 et SSP5-8.5), 2 scénarios agricoles (niveau actuel et intensification) et l'effet fertilisant du CO_2. Les résultats indiquent une hausse généralisée des températures moyennes annuelles (+0,5 à +2,5°C) et des précipitations annuelles (-5 à +50%), avec des saisons agricoles plus longues au nord-est et plus courtes au sud-ouest. A l'horizon 2050, les rendements moyens nationaux du maïs augmenteraient (+5 à +19%) et ceux du riz pluvial baisseraient (~ -8 % sous les deux scénarios) sans l'effet du CO_2 et l'intensification agricole. Toutefois, l'effet du CO_2 associé à l'intensification accroit les rendements du riz pluvial que ceux du maïs.*

Mots-clés *: Céréales pluviales (maïs, riz pluvial), projections CMIP6, Rendements agricoles, Burkina Faso.*

Abstract*:* ***Climate Impact Trajectories on Rainfed Maize and Rice Productivity in Burkina Faso by 2050: Estimation Based on CMIP6 Ensemble Models.***

In Burkina Faso, maize and rice production—both vital to household food security—faces increasing challenges due to climate change. This study assesses the impacts of (agro)climatic trajectories on the productivity of these two rainfed cereals by 2050 at both national and local scales. The analysis combines the DSSAT-CSM model (coupled with R) with climate projections from 10 NEX-GDDP-CMIP6 models, two future climate scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5), two agricultural scenarios (current practices and intensification), and the CO_2 fertilization effect. Results indicate a general increase in average annual temperatures (+0.5 to +2.5 °C) and annual precipitation (-5% to +50%), with longer growing seasons in the northeast and shorter ones in the southwest. By 2050, national average maize yields are projected to increase (+5% to +19%), while rainfed rice yields are expected to decline (~–8% under both scenarios) in the absence of CO_2 fertilization and agricultural intensification. However, when accounting for the CO_2 fertilization effect combined with intensification, gains in rainfed rice yields exceed those observed for maize.

Key words: *Rainfed cereals (Maize, Rainfed rice), CMIP6 projections, Crop yields, Burkina Faso.*

Introduction

Le changement climatique représente un défi majeur pour l'Afrique de l'Ouest sahélienne (IPCC, 2021), particulièrement au Burkina Faso où il se manifeste par des températures accrues, sécheresses et inondations (DeLongueville *et al.,* 2016 ; ME, 2022). Ces perturbations menacent l'agriculture, secteur clé représentant 35% du PIB et employant 63% de la population (INSD, 2022). Bien que le maïs et le riz gagnent en importance politique (MARAH, 2022, 2023), leurs rendements restent faibles (+1-1.5 t/ha pour le riz, +2 t/ha pour le maïs), malgré les initiatives gouvernementales comme la Stratégie nationale rizicole (MAAHA, 2021).

La dépendance aux pluies et la sensibilité climatique de ces cultures entraînent une forte variabilité productive (ME, 2022), aggravée par les projections démographiques (44 millions d'habitants d'ici 2050, INSD, 2023) et climatiques (Sawadogo *et al.,* 2024). Pourtant, les études

sur leurs impacts futurs, notamment avec les scénarios CMIP6, restent limitées (Ouedraogo et al., 2022 ; Waongo *et al.,* 2024).

Cette étude vise donc à combler ce gap en évaluant les effets climatiques futurs sur le maïs et le riz pluviaux, pour renforcer la résilience alimentaire nationale et locale.

1. Matériel, données et méthodes

1.1. Zone d'étude et cartographie des zones de cultures (maïs et du riz pluvial)

L'étude se concentre sur le Burkina Faso, situé en Afrique de l'Ouest, et caractérisé par un climat tropical soudanien, avec une saison des pluies unimodale de mai à septembre (ME, 2022 ; Waongo et al., 2024). Trois zones agroclimatiques sont identifiées selon la pluviométrie annuelle : sahélienne (300–600 mm), sahélo-soudanienne (600–900 mm) et soudanienne (>900 mm) (Fig. 1).

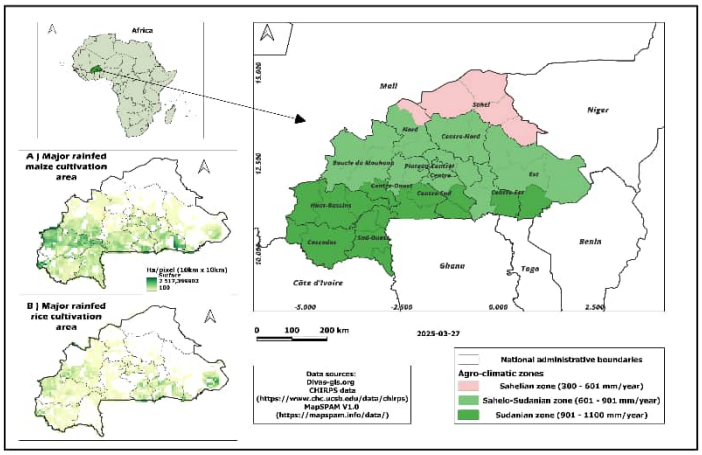


***Figure 3: Localisation géographique du Burkina Faso** et **cartographie des zones agroclimatiques basées sur les précipitations moyennes annuelles (1991-2020)** (A et B représentent les zones majeures de production du riz et du maïs en système pluvial au Burkina Faso)*

Source des données **:**

- ***climat*** **:** https://www.chc.ucsb.edu/data/)
- ***Zone des cultures*** **;** https://mapspam.info/data/)

Toutefois, en raison de la variabilité climatique, un déplacement des isohyètes vers le sud s'observa actuellement, modifiant les régimes pluviométriques et les zones de production. De ce fait, actuellement, le maïs et le riz pluvial sont ainsi principalement cultivés dans les zones sahélo-soudaniennes (centre, ouest, est) et soudaniennes (sud, sud-ouest) du pays comme illustrée par la figure 1 (A et B).

1.2. Données d'études scénarios (agro)climatiques

L'analyse s'appuie sur des données climatiques journalières issues de l'ensemble NEX-GDDP-CMIP6, couvrant la période historique (1985–2014) et les projections futures (2021–2050) sous les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5. Ces données, débiaisées à une résolution de 0,25°, proviennent de dix modèles climatiques du CMIP6 et incluent les précipitations, températures, vent, rayonnement solaire et humidité (Thrasher *et al.,* 2022). Les rendements historiques du maïs et du riz ont été extraits de FAOSTAT (https://www.fao.org/faostat) pour la validation des simulations historiques (1985-2014). Les principales zones de culture ont été cartographiées à l'aide de la base MapSPAM (https://mapspam.info/data/) (IFPRI, 2024), tandis que les données de sols proviennent de SoilGrids-DSSAT à 10 km de résolution (Han *et al.,* 2019). Un ajustement du facteur de fertilité des sols (SLPF) a été appliqué (0,5 pour le maïs, 0,9 pour le riz) afin de refléter les conditions de fertilité édaphique en zone subsaharienne Sahel (Jha *et al.,* 2021). Au total, 205 points de simulation pour le maïs et 155 pour le riz ont été extraits au niveau national à partir du croisement entre les grilles climatiques NEX-GDDP-CMIP6 et les cartes de culture.

1.3. Conception de simulations pour l'évaluation de l'impact et l'analyse des résultats

- ***Configuration de DSSAT-R***

Les simulations ont été réalisées à l'aide des modules CERES-Maize et CERES-Rice du modèle DSSAT-CSM (v4.8.0), couplé à R (v4.2.2). Deux variétés sélectionnées, localement et déjà calibrées dans les conditions locales et régionales (Ouedraogo *et al.,* 2022), incluent « Massongo ou Obatampa et SR21 » pour le maïs (cycles de 90–110 jours ; rendement potentiel de 3–5 t/ha) ; FKR 45N et NERICA1 pour le riz pluvial (cycles de 95–120 jours ; rendement potentiel de 3–6 t/ha), ainsi que « FKR 45N et NERICA1 » pour le riz pluvial (cycles de 95–120 jours ; rendement potentiel de 3–6 t/ha). Les pratiques culturales simulées sont issues de la littérature et d'avis d'experts : labour à 25 cm, semis entre le 1er juin et la mi-juillet, espacement 0,80 m × 0,40 m (maïs) et 0,20 m × 0,20 m (riz), avec semis conditionné par des seuils d'humidité (> 40 %) et de température (Tmin/Tmax spécifiques par culture) (Salack *et al.,* 2015 ; Ouedraogo *et al.,* 2022 ; MARAH, 2022)

- ***Scénarios d'intensification agricole***

Deux scénarios agricoles ont été définis pour évaluer la productivité future sous contrainte climatique traduit les pratiques agricoles actuelles (fertilisation azotée de 15 kg/ha, sans apport de matières organiques), et le scénario d'intensification (S2) exprime des apports plus élevés en fertilisants selon les recommandations nationales (74 kg/ha d'azote et 5 et 10 t/ha de matière organique pour le maïs et riz pluvial) (MARAH, 2022). De plus, deux niveaux de concentration en CO_2 ont également été pris en compte : un scénario sans effet CO_2 (concentration historique de Mauna Loa) et un scénario avec effet CO_2 basé sur les projections futures (508 ppm pour SSP2-4.5 et 571 ppm pour SSP5-8.5) (Elsadek et al., 2024).

- ***Analyse des résultats***

Les résultats sont agrégés par approche multi-modèles pour réduire les incertitudes. La performance est validée par comparaison aux rendements observés, à l'aide d'indicateurs statistiques (RMSE, CV). Les caractéristiques saisonnières (début ou DDS, fin de saison ou DFS, longueur de saison ou LOS) sont déterminées selon les critères agronomiques agroclimatiques (Salack et al., 2015), et dont les propriétés des sols ont été intégrées via la base FAO-HWSDR (v1.1). Les changements futurs des différentes variables agroclimatiques (rendements, biomasse, cycle cultural etc.) sont déterminées à partir de la formule suivante :

$$\Delta y = \frac{y_{future} - y_{ref}}{y_{ref}} \times 100 \quad \textbf{(Equation 1)}$$

Où Δy représente le changement relatif en pourcentage (%) du rendement des cultures, y_{future} et y_{ref} correspondent aux rendements futurs et historiques.

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques (agro)climatiques futures des saisons au Burkina Faso

Les projections indiquent un réchauffement global et une augmentation moyenne des précipitations annuelles d'ici 2050 au Burkina Faso (Fig. 2). Sous SSP2-4.5, les pluies varient de -5 % à +15 %, avec un réchauffement de 0,5 à 1,5 °C. Sous le scénario intermédiaire SSP2-4.5, les précipitations pourraient fluctuer entre -5 % et +15 % (Fig. 2A), tandis que les températures moyennes augmenteraient de 0,5 à 1,5 °C (Fig. 2C). Ces tendances s'accentuent dans le scénario SSP5-8.5, avec une augmentation pluviométrique pouvant atteindre +55 % (Fig. 2B) et un réchauffement moyen de 2,5 °C (Fig. 2D). Spatialement, le nord du pays devrait connaître des conditions plus chaudes et plus humides, alors que le sud et le sud-ouest afficheraient des évolutions pluviométriques stables voire légèrement déficitaires.

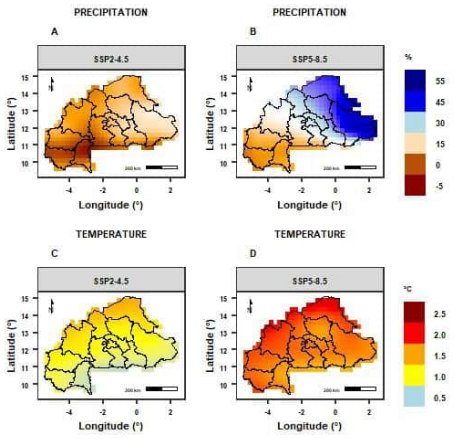


Figure 4: ***Projection future des précipitations (%) et des températures (°C) moyennes annuelles au Burkina Faso sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios climatiques SSP2-4.5 et SSP5-8.5***

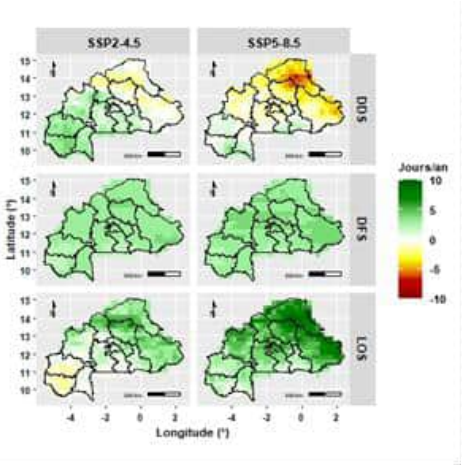


Figure 3: ***Projection future des caractéristiques des saisons agroclimatiques (DDS et DFS : date de début et de fin de saison ; LOS : Longueur de saison) sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios climatiques SSP2-4.5 et SSP5-8.5***

Ces évolutions climatiques, cohérentes avec les dynamiques régionales et locales observées récemment dans certaines études (Sawadogo *et al.,* 2024), devraient perturber le déroulement des saisons agroclimatiques au Burkina Faso. Globalement, une installation précoce des saisons, avec un décalage de 7 à 10 jours, est prévue dans la région nord, tandis que les régions sud, centre et ouest conserveraient un calendrier saisonnier normal à tardif. De plus, la fin de la saison serait retardée au nord, alors qu'elle resterait normale à tardive dans le sud et le sud-ouest.

2.2. Projections des impacts climatiques futurs sur les rendements du riz pluvial et du maïs au Burkina Faso

À l'horizon 2050, les rendements du maïs pourraient augmenter en moyenne nationale de 5 à 19 % (données non présentées ici), avec des variations spatiales allant de -5 % à +20 % selon les scénarios climatiques SSP2-4.5 et SSP5-8.5 (Fig. 4A). Les zones de culture du maïs situées dans le sud et le sud-ouest du pays seraient les plus affectées par les changements climatiques (Fig. 4A). Néanmoins, une intensification de la fertilisation (scénario S2) combinée à l'effet fertilisant du CO_2 permettrait d'améliorer les rendements dans toutes les régions de culture, en particulier dans le sud (Fig. 4B). Cette augmentation des rendements s'accompagnerait également d'une hausse de la biomasse de 12 à 15 % et d'une stabilité de la durée du cycle cultural (données non montrées ici).

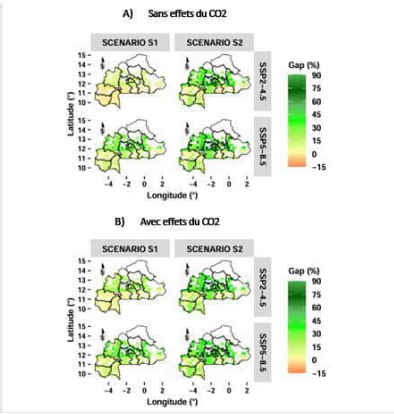


Figure 4: : Projection future des rendements du maïs au Burkina Faso sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios d'émission SSP2–4.5 et SSP5-8.5, tenant compte (ou non) de l'effet fertilisant du CO2 et des scénarios agricoles (S1 et S2)

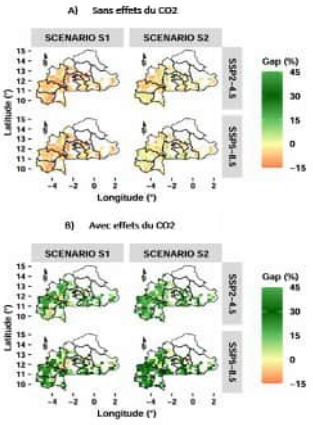


Figure 5: *: Projection future des rendements du riz pluvial au Burkina Faso sur la période 2021-2050 par rapport à la période historique (1985-2014) selon les scénarios d'émission SSP2–4.5 et SSP5-8.5, tenant compte (ou non) de l'effet fertilisant du CO2 et des scénarios agricoles (S1 et S2)*

Pour le riz pluvial, sensible au climat, les rendements seraient en baisse au niveau national (~8%) (données non montrées ici). A l'échelle locale, les baisses pourraient atteindre jusqu'à -15 %, sans intensification ni effet CO_2 (Fig. 5A). Toutefois, en prenant en compte l'effet de l'intensification agricole (S2) et du CO2, les pertes sont atténuées, et les rendements peuvent croître de 5 à 45 % selon les scénarios climatiques et agricoles (Fig. 5B). Ces résultats liés aux impacts sur le maïs et le riz pluvial au niveau national diffèrent des projections régionales qui annoncent généralement une baisse des rendements des céréales pluviales dans le Sahel (Salack *et al.,* 2015 ; Sultan *et al.,* 2023 ; Waongo *et al.,* 2024), mais restent cohérents avec certaines études locales conduites au Burkina Faso (Some *et al.,* 2012). En effet, malgré les effets potentiellement négatifs de la hausse des températures sur les cultures tropicales, le maïs pourrait maintenir voire augmenter ses rendements si les précipitations restent favorables. Une légère élévation thermique, combinée à une pluviométrie accrue et à des conditions agroclimatiques stables, atténuerait ces impacts. En revanche, le riz, plante en C3 sensible à l'effet fertilisant du CO_2, bénéficierait d'une augmentation de rendement en présence de cet effet (FAO, 2008), mais subirait un déclin en son absence

Conclusion

En résumé, cette étude à mis en évidence les effets contrastés du climat futur sur les rendements du maïs et du riz pluvial au Burkina Faso, soulignant l'importance de scénarios adaptés aux réalités locales. Ainsi, l'étude offre une base scientifique pour guider les politiques agricoles face aux défis climatiques à venir. Toutefois, une approche multi-modèles à fine échelle reste nécessaire pour affiner les incertitudes et orienter les futures recherches vers des stratégies d'adaptation plus ciblées, résilientes et durables face aux changements climatiques.

Remerciements

Les auteurs remercient le centre de la NASA pour le climat, auteur des données de simulation NEX-GDDP-CMIP6. K. HIEN remercie l'ARES-CCD pour le financement de l'étude.

Bibliographie

Alderman, P. D. (2021). Parallel gridded simulation framework for DSSAT-CSM (version 4.7.5.21) using MPI and NetCDF. *Geoscientific Model Development*, 14 (10), 6541-6569. https://doi.org/10.5194/gmd-14-6541-2021

De Longueville, F., Hountondji, Y.C., Kindo I., Gemenne, F. & Ozer, P. (2016). Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950-2013). *Int. J. Climatol.,* 36(13), 4393-4405, https://doi.org/10.1002/joc.4640

FAO. (2008). Chapitre 4. L'effet fertilisant du CO_2 : production et rétention accrues d'hydrates de carbone en termes de rendement en biomasse et en grain. In La croissance de la production alimentaire et la sécurité alimentaire dans le monde : Les défis futurs. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. https://www.fao.org/4/w5183f/w5183f06.htm

Han, E., Ines, A.V.M., & Koo, J. (2019). Development of a 10-km resolution global soil profile dataset for crop modeling applications. *Environ.l Model. Softw*, 19, 70-83, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.05.012

INSD (2022). Cinquième Recensement Général de la Population et de l'Habitation du Burkina Faso : Synthèse des résultats définitifs. Rapport final. 136 p.

INSD (2023). Projections démographiques 2020-2035 : Cinquième recensement général de la population et de l'habitat de 2019. édition 2, rapport final. 520p

International Food Policy Research Institute (IFPRI) (2024). Global Spatially-Disaggregated Crop Production Statistics Data for 2020 Version 1.0", Harvard Dataverse, Version 3, https://doi.org/10.7910/DVN/SWPENT,

Jha, P.K., Araya, A., Stewart, Z.P., Faye, A., Traore, H., Middendorf, B.J & Prasa, P.V.V (2021). Projecting potential impact of COVID-19 on major cereal crops in Senegal and Burkina Faso using crop simulation models, *Agricultural Systems*, 190, 103107, https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103107

Knutti, R. & Sedláček, J. (2012). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Clim Change* , **3**, 369–373. https://doi.org/10.1038/nclimate1716

MARAH (2022). Tableau de bord statistique de l'agriculture, des ressources animales et halieutiques 2021 au Burkina Faso. Rapport final. 96 p.

MAAHA (2021). Deuxième génération de la stratégie nationale de développement de la riziculture (SNDR-II) : 2021-2030. Document final. 129p.

MARAH (2023). Plan opérationnel pour la souveraineté alimentaire et la création d'emplois décents dans le secteur agropastoral : « *offensive agropastorale et halieutique 2023-2025* ». Document synthèse. 18p

ME (Ministère de l'Environnement) (2022). Troisième Communication Nationale (TCN) sous la Convention Cadre des Nations-Unies sur les Changements climatiques. Rapport final. 268p

Ouedraogo, E., Pouya, B.M., Gnankambary, Z. & Nacro, H.B. (2022). Pratiques paysannes de fertilisation du maïs et rotations culturales dans les exploitations à l'Ouest du Burkina Faso : quels effets sur les propriétés chimiques du sol et les rendements? Int. J. Biol. Chem. Sci. 17(3): 1253-1268, April 2023 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)? http://www.ifgdg.org/, 16p

Salack, S., Sarr, B., Sangare, K.S., Ly M., Sanda, S.I & Kunstmann, H. (2015). Crop−climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa, Contribution to CR Special 31 'Modelling climate change impacts for food security, *Clim Res*, 65:107–121, http://dx.doi.org/10.3354/cr01282

Sawadogo, W., Neya, T., Semde, I., Korahiré, A.J., Combasséré, A., Traoré, D.E., Ouedraogo, P., Diasso, U.J., Abiodum J. B., Bliefernicht, J. & Kunstmann, K. (2024) . Potential impacts of climate change on the sudan-sahel region in West Africa – Insights from Burkina Faso. *Environmental Challenges*, 15 (2), DOI: 10.1016/j.envc.2024.100860

Some, L, Jalloh, A., Zougmore, R., Nelson, G., & Thomas, T (2012). Agriculture ouest africaine et changements climatique: Analyse exhaustive- le Burkina Faso. Retrieved December 19, 2024, https://ebrary.ifpri.org/digital/api/collection/p15738coll2/id/127528/download

Sultan, B, Ahmed, A.I, Faye, B. & Tramblay, Y (2023). Less negative impacts of climate change on crop yields in West Africa in the new CMIP6 climate simulations ensemble. *PLOS Clim*, 2 (12): http://dx.doi.org/10.1371/journal.pclm.0000263

Thraser, B., Wang, W., Michaelis, A., Melton, F., Lee, T. & Nemani, R. (2022). NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6, *Sci Data* 9, 262, https://doi.org/10.1038/s41597

Waongo, M., Laux, P., Coulibaly, A., Sy, S. & Kunstmann, H. (2024). Assessing the Impacts of Climate Change on Rainfed Maize Production in Burkina Faso, West Africa, Atmosphere, 15 (12), 1438. https://doi.org/10.3390/atmos15121438

RESILIENCE DES PRODUCTEURS AGRICOLES FACE AUX RISQUES D'INONDATION DANS LA COMMUNE DE OUINHI AU SUD-EST DU BENIN

Sénadé Sylvie HOUNZINME [1] ; Monsoundé Etienne DOSSOU [2] ; Madjidou OUMOROU[1]

[1]*Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) Université Abomey-Calavi (UAC), Bénin*
[2] *Faculté des Sciences Humaines et Sociale, Université d'Abomey-Calavi (UAC)*
[*]*Auteur correspondant : sylvi2006oni@yahoo.fr*

Résumé : *Cette étude vise à mesurer la résilience des ménages agricoles dans la Commune de Ouinhi. 210 ménages agricoles ont été sélectionnés par une technique d'échantillonnage aléatoire simple pour une enquête à l'aide d'un questionnaire. Les résultats ont montré que l'indice global de résilience est faible (0,10±11) ainsi que les indices de résilience des composantes (sociale, économique, institutionnelle et physique). La composante sociale a le plus grand indice de résilience (0,25) alors que la composante institutionnelle a obtenu le plus faible indice de résilience (0,011). Les mesures proposées renforceront la résilience des producteurs et leur permettront de faire face aux futurs risques d'inondation.*

Mots clés *: indice de résilience, indicateurs de résilience, inondation*

Abstract : Resilience of agricultural producers at the risk of flooding in the town of Ouinhi in the south-east of Benin. *This study aims to assess the resilience of agricultural households in the Commune of Ouinhi. A total of 210 agricultural households were selected using a simple random sampling technique for a survey conducted with a questionnaire. The results showed that the overall resilience index was low (0.10±11), as were the resilience indices of the different components (social, economic, institutional, and physical). The social component had the highest resilience index (0.25), whereas the institutional component had the lowest resilience index (0.011). The proposed measures will strengthen farmers' resilience and enable them to cope with future flood risks.*

Keywords: resilience index, resilience indicators, flooding

Introduction

La résilience des producteurs agricoles face aux risques d'inondation est un enjeu majeur pour le développement durable de nombreuses régions (Sanou & Badolo, 2017), notamment dans les zones vulnérables comme la Commune de Ouinhi, située au Sud-Est du Bénin (Yabi et al., 2018). La région, qui dépend en grande partie de l'agriculture pour son développement économique et sa sécurité alimentaire, est régulièrement exposée aux effets dévastateurs des inondations, exacerbés par les changements climatiques et la gestion parfois insuffisante des ressources en eau (Yabi, 2019). Ces inondations, souvent saisonnières, affectent gravement les rendements agricoles, détruisent les infrastructures et mettent en péril la subsistance des producteurs locaux (Gbedji et al., 2022).

Face à cette réalité, il devient essentiel d'explorer les stratégies de résilience adoptées par les agriculteurs pour faire face à ces événements climatiques extrêmes. La résilience, dans ce contexte, désigne la capacité des producteurs à anticiper, à s'adapter et à se remettre des impacts des inondations tout en maintenant ou en renforçant leur production agricole. Cette étude se propose d'analyser les mécanismes d'adaptation des agriculteurs de la Commune de Ouinhi, les facteurs influençant leur résilience et les politiques et actions mises en place pour minimiser les effets de ces catastrophes naturelles sur leurs activités. Ainsi, l'objectif est de comprendre comment les producteurs agricoles peuvent renforcer leur résilience face aux inondations afin d'assurer la durabilité de leurs activités et améliorer leur sécurité alimentaire.

1. Matériel et méthodes

1.2. Milieu d'étude

La Commune de Ouinhi est localisée au sud-est du Bénin entre 06°57' et 07°11' de latitude nord et 02°23' et 02°33' de longitude est. D'une superficie de 483 km², elle est limitée au Nord-Ouest par la Commune de Zagnanado, au Sud-Ouest par la Commune de Zogbodomey, au Sud-Est par la Commune de Bonou et à l'Est par la Commune d'Adja-Ouèrè dans le département de l'Ouémé. La Commune de Ouinhi compte 28 villages répartis sur quatre arrondissements que sont : Dasso, Sagon, Tohouè, Ouinhi. La population de la Commune de Ouinhi est estimée à 59.381 habitants. Le relief de Ouinhi constitué essentiellement de bas plateaux. Le milieu d'étude jouit d'un climat de type subéquatorial avec une pluviosité moyenne annuelle de 1250 mm avec deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Les températures annuelles moyennes varient entre 29,8 °C et 36,3 °C sans grande variation diurne ou saisonnière. L'agriculture est la principale activité économique des communautés locales.

1.3. Collecte des données

Dans le cadre de cette étude, des données démographiques, socio-économiques et environnementales ont été collectées afin d'analyser la résilience des producteurs agricoles face aux risques d'inondation. La collecte des données a été réalisée à travers une enquête de terrain menée auprès d'un échantillon de 210 ménages, sélectionnés selon une approche méthodologique rigoureuse garantissant la représentativité des résultats.

L'échantillon de 210 ménages a été déterminé en utilisant une méthode d'échantillonnage aléatoire stratifié, prenant en compte des critères tels que la répartition géographique, la taille des ménages, et leur statut socio-économique. Cette approche permet d'assurer une couverture équilibrée des différentes catégories de population et de garantir la fiabilité des résultats obtenus.

La collecte des données a été réalisée à l'aide de questionnaires structurés administrés lors d'entretiens individuel avec les chefs de ménage ou un membre adulte du ménage. Les questionnaires ont été élaborés pour recueillir des informations détaillées sur plusieurs aspects :

- Données démographiques : âge, sexe, taille du ménage, niveau d'éducation, situation matrimoniale, etc.

- Données socio-économiques : sources de revenus, niveau de vie, accès aux services de base (eau, électricité, santé, éducation).

- Données environnementales : gestion des déchets, accès aux ressources naturelles, impact des activités humaines sur l'environnement.

L'enquête a été conduite de mars à avril 2024, par une équipe de 2 enquêteurs formés. Avant la collecte des données, une phase de pré-test a été réalisée auprès d'un sous-échantillon afin d'évaluer la clarté et la pertinence des questions et d'apporter les ajustements nécessaires.

1.4. Analyse des données

Les données collectées ont été saisies et analysées à l'aide du tableur Excel et du logiciel R. L'Indice de Résilience face aux inondations (IRI) a été calculé. Cet indice est un outil d'évaluation permettant de mesurer la capacité des ménages agricoles de la Commune de Ouinhi à anticiper, s'adapter et se remettre des impacts liés aux inondations. Cet indice repose sur plusieurs dimensions clés qui intègrent des aspects socio-économiques, environnementaux et institutionnels. Il est donné la formule :

$$IRI = W_1 XC_A + W_2 XC_{AP} + W_3 XC_{CR}$$

avec CA-Capacité d'anticipation ; CAP-Capacité d'adaptation et CCR-Capacité de récupération.

L'IRI est compris entre 0 (faible résilience) et 1 (résilience élevée). Une valeur élevée indique que le ménage ou la communauté possède une meilleure capacité à faire face aux effets du changement climatique.

2. Résultats

2.1. Analyses des facteurs déterminants la résilience des ménages face aux risques d'inondation

Le tableau 1 présente une analyse des différentes dimensions de la résilience des ménages agricoles de Ouinhi face aux inondations. Il se divise en quatre grandes composantes : résilience sociale, résilience économique, résilience institutionnelle et résilience physique. Chacune de ces composantes est évaluée à travers plusieurs variables qui permettent d'appréhender le degré de vulnérabilité et de préparation des ménages.

Tableau 1. Dimensions de la résilience des ménages agricoles de Ouinhi

Composantes	Variables	Description	Effectif	Proportion (%)
Résilience sociale	Statut scolaire	Pourcentage de ménage dont le chef a fait des études secondaires	79	37,62
	Âge (personnes à charge)	Pourcentage de ménage ayant en charge des personnes de > 60 ans et de < 15	103	49,05
	Assurance maladie	Pourcentage de ménage bénéficiant d'une assurance maladie	0	0,00
	Capital social	Pourcentage de ménage ayant des relations sociétales et étant membre de différentes organisations	201	95,71
	Invalidité	Pourcentage de ménages ayant au moins une personne souffrant d'un handicap physique ou mental	2	0,95
	Moyens de transport	Pourcentage de ménages avec un véhicule	23	10,95
	Croyance religieuse	Pourcentage de ménages qui croient que les inondations surviennent par la volonté de Dieu	109	51,90
Résilience économique	Emploi	Pourcentage ménage dont le chef a un emploi salarié	10	4,76
	Revenu	Pourcentage de ménages au-dessus du seuil de pauvreté	44	20,95

Composantes	Variables	Description	Effectif	Proportion (%)
	Sources de subsistance multiples	Pourcentage de ménages ayant plusieurs sources de revenus	100	47,62
Résilience institutionnelle	Conscience	Pourcentage de ménages qui ont reçu une éducation et des compétences pour se préparer et se protéger contre les inondations	22	10,48
	Récupération après une inondation	Pourcentage de ménages couverts par les programmes de protection contre les inondations	189	90,00
	Avertissement d'inondation	Pourcentage de ménages ayant reçu une alerte concernant les inondations	201	95,71
Résilience physique	Matériau de construction	Pourcentage de ménage ayant des habitations entièrement fait de briques ou béton	116	55,24
	Location	Pourcentage de ménage situé dans un rayon de 1 km des zones sujettes aux inondations	198	94,29
	Infrastructure	Pourcentage de ménages qui vivent à proximité des zones où des réservoirs et des remblais, des digues et des murs anti-inondation sont construits	0	0,00

La résilience sociale est mesurée à travers plusieurs indicateurs liés à l'éducation, l'âge des personnes à charge, l'accès à une assurance maladie, le capital social, la présence d'une personne en situation de handicap, les moyens de transport et les croyances religieuses. Seuls 37,62 % des ménages ont un chef de famille ayant fait des études secondaires, ce qui peut limiter l'accès à l'information et aux opportunités économiques. Près de la moitié des ménages (49,05 %) ont à charge des personnes vulnérables (> 60 ans ou < 15 ans), ce qui peut augmenter leur fragilité. Aucun ménage ne bénéficie d'une assurance maladie, un facteur aggravant en cas de catastrophe. En revanche, 95,71 % des ménages possèdent un fort capital social, ce qui peut être un atout en période de crise. Seuls 10,95 % disposent d'un véhicule, ce qui peut poser un problème en cas d'évacuation et 51,90 % des ménages attribuent les inondations à une volonté divine, ce qui pourrait influencer leur perception du risque et leur préparation.

La situation économique des ménages est précaire, ce qui peut limiter leur capacité à faire face aux catastrophes. Seuls 4,76 % des chefs de ménage ont un emploi salarié, ce qui révèle une grande dépendance aux activités informelles. 20,95 % des ménages se situent au-dessus du seuil de pauvreté, montrant une large majorité en situation de précarité. 47,62 % des ménages

disposent de plusieurs sources de revenus, ce qui peut être un facteur positif pour l'adaptation aux crises.

La capacité des ménages à réagir face aux inondations dépend en partie des actions institutionnelles mises en place. Seulement 10,48 % des ménages ont reçu une éducation sur la prévention des inondations, ce qui peut limiter leur réactivité. En revanche, 90 % des ménages sont couverts par des programmes de protection contre les inondations. 95,71 % des ménages reçoivent des alertes sur les inondations, ce qui témoigne d'un bon système d'information.

Les infrastructures et l'emplacement des logements sont des facteurs déterminants de la vulnérabilité. 55,24 % des ménages habitent dans des constructions solides (briques ou béton), ce qui constitue un atout face aux inondations. 94,29 % des ménages vivent à proximité des zones sujettes aux inondations, augmentant leur exposition aux risques. Aucun ménage ne se trouve à proximité d'infrastructures de protection (digues, murs anti-inondation), ce qui accroît leur vulnérabilité.

2.2. Degré de résilience des ménages

La figure 1 représente les 4 dimensions de la résilience (Résilience sociale, Résilience économique, Résilience institutionnelle et Résilience physique). La résilience sociale est la plus élevée parmi les quatre dimensions, avec une valeur autour de 0,25-0,30. Cela signifie que les ménages agricoles de Ouinhi sont mieux résilient sur le plan social par rapport aux autres dimensions (économique, institutionnelle et physique) ont des valeurs proches de zéro, indiquant une faible résilience des ménages pour ces dimensions. L'analyse de la figure met en évidence une vulnérabilité élevée des ménages face aux inondations, en raison de faibles résilience économiques, d'un manque d'infrastructures de protection et d'une exposition importante aux zones à risque. Cependant, le fort capital social et la mise en place de systèmes d'alerte et de protection institutionnelle sont des points positifs qui peuvent être renforcés. Il est essentiel d'investir dans l'éducation à la prévention, l'amélioration des infrastructures et l'accès à des ressources économiques diversifiées pour réduire la vulnérabilité de ces populations.

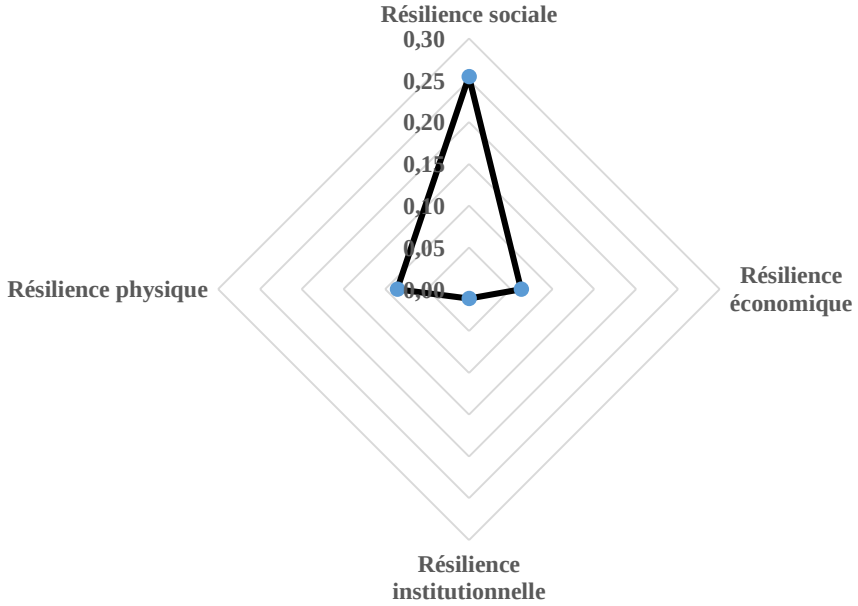


Figure 1. Degré de résilience des ménages des dimensions (sociale, économique, institutionnelle et physique)

3. Discussion

Les résultats de cette étude montrent des valeurs proches de zéro dans les dimensions économique, institutionnelle et physique ce qui suggère que ces ménages sont moins bien préparés ou soutenus dans ces aspects. Sur le plan économique, cela pourrait signifier une dépendance excessive à l'agriculture de subsistance ou une faible diversification des sources de revenus. La faible résilience institutionnelle pourrait indiquer une capacité limitée à accéder à des services publics ou à des soutiens gouvernementaux. Enfin, une résilience physique faible peut signifier un manque d'infrastructure adéquate, comme des systèmes d'irrigation ou des logements résistants aux aléas climatiques (Yabi, 2019).

Cette disparité entre la résilience sociale et les autres dimensions met en évidence la nécessité d'une approche intégrée pour renforcer la résilience. Les politiques publiques devraient viser à combler les lacunes économiques, institutionnelles et physiques tout en soutenant les liens sociaux. Par exemple, des programmes d'amélioration des infrastructures de base, des systèmes d'accès à des services financiers ou des formations institutionnelles pour les leaders locaux pourraient renforcer la résilience globale des ménages agricoles (Sanou & Badolo 2017).

Il serait pertinent d'approfondir les raisons pour lesquelles la résilience sociale est plus forte. Peut-être existe-t-il des facteurs culturels ou historiques qui favorisent une solidarité sociale plus marquée. Ou bien, cela pourrait être dû à des interventions spécifiques visant à améliorer le capital social dans la région. Cela peut aussi signifier que les ménages compensent leur faiblesse.

Conclusion

Cette étude, fondée sur l'utilisation de l'indice de résilience, a mis en lumière un aspect intéressant de la résilience sociale des ménages agricoles à Ouinhi montrant une résilience sociale est plus élevée par rapport aux autres dimensions (économique, institutionnelle et physique), cela suggère que les ménages agricoles à Ouinhi bénéficient de réseaux sociaux solides, de liens communautaires ou d'un soutien social efficace. Ce soutien pourrait inclure des pratiques de solidarité, des échanges d'informations ou des mécanismes informels d'entraide qui permettent aux ménages de mieux faire face aux risques d'inondation, même lorsqu'ils sont moins préparés économiquement ou institutionnellement.

Il est crucial de mettre en place des stratégies de réduction de la vulnérabilité basées sur les résultats de cette étude. Cela pourrait inclure des initiatives ciblées pour renforcer la résilience des communautés les plus vulnérables, améliorer l'accès aux services de base et renforcer la gouvernance locale. De plus, l'application de l'indice de vulnérabilité dans une démarche continue permettra de suivre l'évolution des risques et d'ajuster les politiques publiques de manière proactive, afin de réduire l'impact des crises futures.

Bibliographie

Gbedji B.G., Issa, M. S., & Ogouwale, E., 2022 : Stratégies D'adaptation Des Entrepreneurs En Agrobusiness Aux Contraintes Climatiques Dans Les Communes d'Adjohoun Et De Bonou Au Sud Est Du Benin. *Stratégies*, *34*(**1**), 134-148.

Sanou K., & Badolo M., 2017 : Corpus de référentiels d'aide à la décision pour la résilience de la production vivrière aux risques climatiques dans la région Maritime au Togo. *VertigO*, *17*(**3**).

Yabi I., 2019 : Changements climatiques et inondations dans la Commune de Ouinhi au Sud-Est du Bénin: pour la transformation de la catastrophe en opportunités. *Revue espace géographique et Société Marocaine*, *27*.

Yabi I., Yolou I., Yerima L. O., Koudjegan E., & Afouda F., 2018 : Valorisation agricole des vallées de la Commune de Ouinhi (Sud-Bénin): entre atouts et contraintes. *La Revue des Sciences Sociales «Kafoudal*, ***1***, 11-33.

VULNERABILITE CLIMATIQUE DES SYSTEMES AGRICOLES DANS LE BASSIN DU KOU (BURKINA FASO) : UNE CARTOGRAPHIE POUR L'ADAPTATION

Patindsaongo Zephirin KAGAMBEGA

Institut des Sciences des Sociétés (INSS)/Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST) 03 BP 7047 0uagadougou 03 kagambegazephirin@gmail.com

Résumé : *Les systèmes agricoles du bassin versant du Kou sont confrontés à une variabilité climatique accrue, marquée par des sécheresses, des inondations et l'érosion des sols. Cette étude vise à cartographier la vulnérabilité des exploitations agricoles à l'ide d'un SIG et d'une analyse multicritère (AMC). Les résultats révèlent une vulnérabilité spatialisée, influencée par des facteurs climatiques, pédo-géographiques et socio-économiques. Les communes de Bama et de Péni apparaissent comme les plus vulnérables. Des recommandations sont formulées pour renforcer la résilience agricole, notamment à travers le renforcement des capacités des producteurs, l'amélioration de l'accès à l'information climatique et la diversification des cultures.*

Mots-clés *: aléas climatiques, vulnérabilité, adaptation, SIG bassin versant du Kou*

Abstract: *Agricultural systems in the Kou watershed are facing increased climate variability, marked by droughts, floods, and soil erosion. This study aims to map the vulnerability of farms using a geographic information system (GIS) and multi-criteria analysis (MCA). The results reveal spatial vulnerability, influenced by climatic, pedo-geographic, and socio-economic factors. The municipalities of Bama and Péni appear to be the most vulnerable. Recommendations are made to strengthen agricultural resilience, particularly through capacity building for producers, improving access to climate information, and crop diversification.*

Keywords: *climate hazards, vulnerability, adaptation, GIS, Kou watershed*

Introduction

La sécurité alimentaire est fortement affectée par le changement climatique, notamment à travers la modification des régimes de précipitations et le réchauffement global (Calvin *et al.,* 2023). La vulnérabilité des populations face à ces changements est déterminée par divers facteurs socio-économiques et environnementaux (Deressa *et al.,* 2008), et touche de manière disproportionnée les groupes les plus fragiles (Calvin *et al.,* 2023). Cette vulnérabilité varie selon les régions et au sein même des populations locales (GIEC, 2001).

Les pays africains, bien qu'ils soient faiblement émetteurs de gaz à effet de serre (7 % des émissions cumulées de 1850 à 2019 selon Calvin *et al.,* 2023, figurent parmi les plus vulnérables, du fait de leurs capacités d'adaptation limitées (Bonkoungou *et al.,* 2019). Pour renforcer leur résilience, ces pays doivent s'appuyer sur des données précises de vulnérabilité.

Au Burkina Faso, pays sahélien particulièrement exposé, les impacts climatiques se manifestent par des sécheresses, des inondations et des invasions acridiennes récurrentes (MEEA, 2024). Le bassin versant du Kou, zone agricole stratégique des Hauts-Bassins, subit une pression croissante du fait de pratiques agricoles non durables, d'une mauvaise gestion de l'eau et d'une fragmentation accrue du paysage (Wellens, 2014 ; Dembélé *et al.,* 2023).

Dans ce contexte, cartographier la vulnérabilité des exploitations agricoles est crucial pour identifier les facteurs de risque et proposer des stratégies d'adaptation. Cette étude vise donc à localiser les zones agricoles vulnérables aux aléas climatiques afin d'identifier les leviers d'adaptation.

2. Méthodologie

2.1 Zone d'étude

Le bassin versant du Kou est situé dans la région des Hauts-Bassins au Burkina Faso et entre les longitudes 4° 08' W et 4° 36' W et les latitudes 10° 55' N et 11° 32' N. La carte n°1 présente la localisation du bassin versant du Kou.

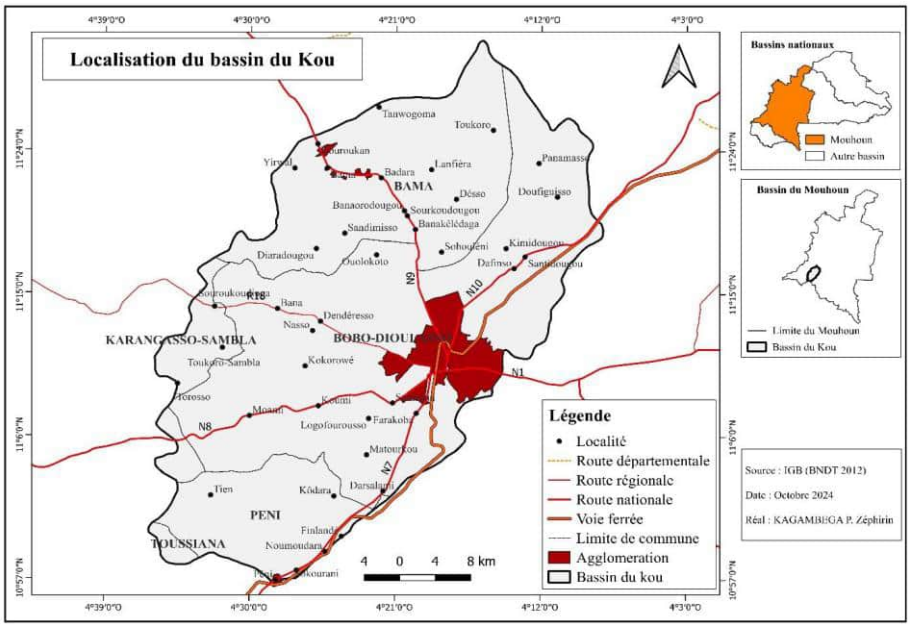


Figure 1. Localisation du bassin versant du Kou

Il est partagé entre trois commune que sont Bobo-Dioulasso, Bama et Péni ; avec une superficie estimée à 1816 Km². C'est une zone agricole majeure et son climat de type soudano-sahélien se caractérise par une variabilité pluviométrique importante. Les activités agricoles y sont dominées par la culture du coton, du maïs et du riz irrigué.

2.2 Données et sources

L'étude repose sur l'exploitation de plusieurs types de données. Les données climatiques proviennent de l'ANAM et de la Direction Régionale de l'Eau et de l'Assainissement des Hauts-Bassins, et couvrent la période 1988–2017. Elles incluent les relevés de six stations pluviométriques (Bama, Bobo, Bérégadougou, Béréba, Kourouma et Sidéradougou) et permettent d'évaluer l'exposition aux sécheresses via l'analyse de la fréquence et de l'intensité des précipitations.

Les données biophysiques incluent une carte d'occupation des terres de 2024, élaborée à partir d'une image Landsat 8. La classification supervisée a été effectuée avec l'algorithme de vraisemblance maximale sous QGIS (extension SCP). Une carte des pentes, générée à partir d'un MNT, met en évidence les zones exposées à l'érosion.

Les données socio-économiques ont été recueillies à travers des enquêtes de terrain sur les pratiques agricoles, l'accès aux infrastructures et la perception des effets du climat par les populations locales.

La vulnérabilité a été conceptualisée comme une combinaison de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité d'adaptation (MEEVCC, 2021). L'approche intégrée utilisée, combinant données biophysiques et socio-économiques, s'inscrit dans la démarche cartographique de la vulnérabilité (Zaatra, 2021). Des cartes thématiques ont été produites pour spatialiser cette vulnérabilité dans le bassin versant.

Tableau 1 : Présentation des variables de vulnérabilité

Variables		Vulnérabilité (1-3)	Classe de vulnérabilité	Pourcentage d'influence
Exposition				60%
Exposition à l'inondation				10%
Distribution de l'intensité des pluies		(857 – 920) 3 (921 – 982) 2 (983 - 1 055) 1	Forte Moyenne Faible	20%
Exposition aux sécheresse		(-0.44 -0.25) 3 (-0.24 -0.08) 2 (-0.07 0.12) 1	Forte Moyenne Faible	20%
Pente		0 – 8 1 9 – 15 2 16 – 84 3	Faible Moyenne Forte	10%
Sensibilité				40%
Occupation des sols	Forêt galerie & savane arborée	1	Faible	30%
	Savane arbustive	1	Faible	
	Zone de culture	3	Forte	
	Culture irriguée	3	Forte	
	Habitat	1	Faible	
	Zone dénudée	1	Faible	
	Plan d'eau	2	Moyenne	
Densité de population (hbts/km²)		(41 – 47) 1 (48 – 69) 2 (70 – 554) 3	Faible Moyenne Forte	10%

Il existe une diversité d'évaluations quantitatives de la vulnérabilité (Pavageau et al., 2013). Dans le cadre de cette étude, les données ont été analysées à l'aide d'une Analyse Multi-Critères (AMC) sous ArcGIS, en recourant à l'outil *Weighted Overlay* pour classer les zones selon leur degré de vulnérabilité. Les variables des deux dimensions exposition et sensibilité ont été pondérées en fonction de leur influence respective sur la vulnérabilité. Ces pondérations, attribuées sur la base d'une combinaison d'expertise thématique et de revue bibliographique, ont été fixées à 60 % pour l'exposition et 40 % pour la sensibilité. Cette hiérarchisation traduit le fait que l'exposition constitue le facteur déterminant dans l'occurrence du risque, bien que la sensibilité puisse en amplifier les effets.Cette pondération a permis d'établir une classification des zones en trois niveaux de vulnérabilité : faible, moyenne et forte.

L'analyse a été réalisée sous ArcGIS à partir de la superposition de plusieurs couches d'information géographique. Ces couches ont été normalisées, pondérées, puis agrégées pour produire des cartes thématiques représentant la distribution spatiale de la vulnérabilité.

3. Résultats et discussion

3.1 Les facteurs de la vulnérabilité

La cartographie de la vulnérabilité a été réalisée en combinant les données d'exposition et de sensibilité dans le bassin versant. Il s'agit principalement de quatre données sur l'exposition et de deux données sur la sensibilité.

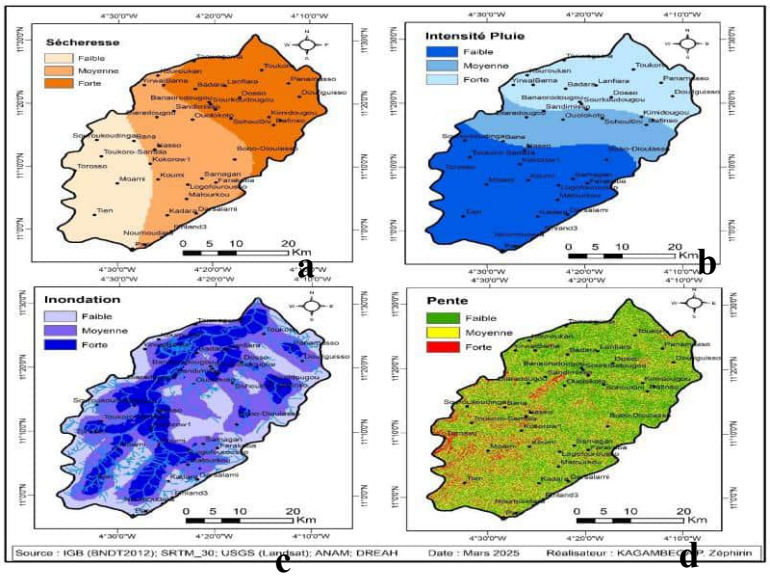


Figure 2. Différentes cartes thématiques sur les facteurs d'exposition : a) exposition à la sécheresse ; b) Exposition à l'intensité des pluies ; c) Exposition aux inondations ; d) Exposition lié à la topographie

L'exposition au changement climatique se réfère à la localisation des exploitations agricoles dans des zones particulièrement vulnérables aux aléas climatiques tels que les sécheresses, les inondations et autres phénomènes extrêmes (Zaatra, 2021). Les zones proches des cours d'eau affichent une forte exposition aux inondations. Il s'agit notamment du cours principal et ses principaux affluents. Les précipitations intenses dans ces zones augmentent le risque. Les zones où les niveaux pluviométriques sont les plus bas, principalement les localités avec des faibles réserves d'eau, sont marquées par une forte vulnérabilité à la sécheresse. Le Nord-Est du bassin du Kou présente une exposition marquée liée à la sécheresse et à l'intensité des pluies. Les zones en pente forte (>16°) sont particulièrement vulnérables à l'érosion des sols, aggravant les impacts sur les cultures.

Pour Fritzsche *et al.* (2015), la sensibilité fait référence aux activités humaines influençant la composition physique d'un système. La sensibilité a été appréhendée par les variables liés à l'occupation des sols et à la densité des populations. Pour la variable de l'occupation des sols, les zones cultivées présentent une sensibilité élevée, en raison de leur dépendance aux conditions climatiques. Les espaces forestiers ou savanes arborées, avec une occupation réduite par l'homme, présentent une sensibilité faible. En outre, les zones à forte densité de population montrent une pression accrue sur les ressources naturelles, augmentant la vulnérabilité globale des systèmes agricoles.

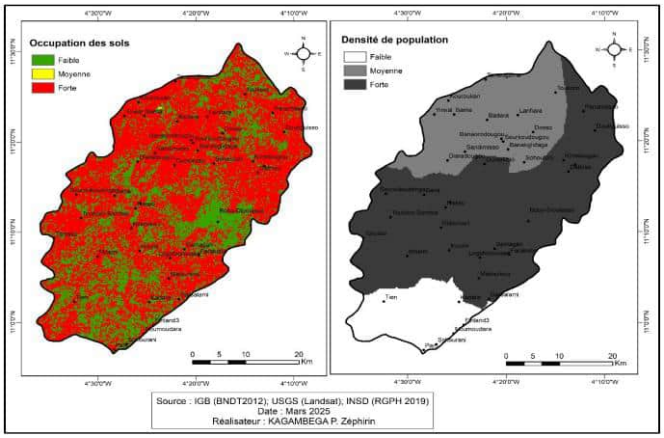


Figure 3. Différentes cart ıatiques sur les facteurs de sensibilité : a) Sensibilité à l'occ des terres ; b) Sensibilité à la densité des populatio...

3.2 Analyse de la vulnérabilité

La vulnérabilité est une notion complexe résultant de l'interaction de multiples facteurs, et non une variable directement mesurable (Fritzsche et al., 2015). Dans le bassin versant du Kou, la combinaison des données d'exposition et de sensibilité révèle des niveaux de vulnérabilité différenciés. Ces résultats sont illustrés dans la figure 4.

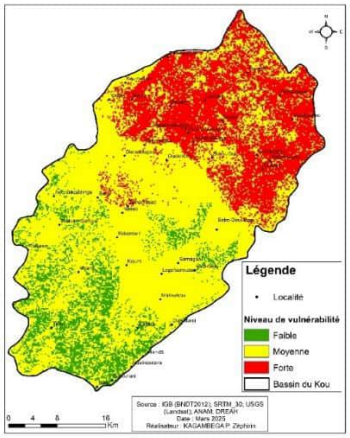


Figure 4. Vulnérabilité des systèmes agricoles

L'analyse de la carte de vulnérabilité du bassin versant du Kou révèle trois grandes zones devulnérabilité : une vulnérabilité faible à moyenne localisée au sud et à l'ouest, une vulnérabilité moyenne au centre, et une vulnérabilité moyenne à forte au nord-est. Les communes de Bama et Péni apparaissent comme les plus vulnérables, principalement en raison des inondations récurrentes qui y surviennent, couplées à une faible capacité d'adaptation des populations locales (infrastructures limitées, accès réduit aux services d'urgence et faible diversification économique). Bobo-Dioulasso, quant à elle, présente une vulnérabilité de niveau moyen, expliquée par la présence d'infrastructures de gestion des risques et par un meilleur accès à l'information climatique, ce qui atténue partiellement son exposition aux aléas. Afin de valider la classification obtenue par l'Analyse Multi-Critères, des observations de terrain ont été mobilisées. Celles-ci confirment, par exemple, que les zones classées à forte vulnérabilité (notamment dans les communes de Bama et Péni) ont effectivement subi des impacts importants lors des dernières saisons pluvieuses, tels que des pertes agricoles, des dégâts sur les habitations et des déplacements temporaires de population. À l'inverse, les zones classées comme peu vulnérables n'ont enregistré que des perturbations mineures. Cette validation empirique renforce la pertinence de l'approche cartographique utilisée. Bonkoungou *et al.* (2019) soulignent que la perception de la vulnérabilité en milieu rural est influencée par les obstacles à l'adaptation. Ces résultats appellent des mesures différenciées selon les zones.

3.3 Stratégies d'adaptation recommandées

L'étude met en évidence une vulnérabilité climatique variable dans le bassin versant du Kou, nécessitant des stratégies d'adaptation ciblées. Les enquêtes soulignent trois actions prioritaires : ouvrages antiérosifs (25 %), sensibilisation/formation (60 %) et reboisement (70 %). Ces pratiques visent à renforcer la résilience des agriculteurs face aux aléas climatiques. Toutefois, des obstacles majeurs freinent leur mise en œuvre : manque de structures (45 %), formation insuffisante (35 %) et faible implication communautaire (20 %). L'étude recommande aussi de renforcer les systèmes d'irrigation et l'accès à l'information climatique, notamment via des radios communautaires et outils numériques.

4. Conclusion et perspectives

Cette étude a permis d'identifier les zones les plus vulnérables aux aléas climatiques dans le bassin du Kou. Les cartes obtenues constituent un outil essentiel pour guider les décideurs et les acteurs du développement agricole. Des perspectives d'intégration de modèles de simulation climatique dans l'analyse future permettraient d'affiner les stratégies d'adaptation.

Bibliographie

Bonkoungou, J., Compaore, J., Traore, F., Beucher, O., et Bikienga, I., 2019 : Analyse De Vulnérabilités Des Systèmes Agraires De La Région De La Boucle Du Mouhoun Au Burkina Faso. *European Scientific Journal ESJ, 15*(2). https://doi.org/10.19044/esj.2019.**v1**5n2p104.

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., … Péan, C.,2023: *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

Dembele, B., Gomgnimbou, A. P. K., Yameogo, J. T., Ouedraogo, O. W., Tankoano, B., 2023 : Dynamique spatiale et temporelle de la couverture ligneuse du bassin versant du Kou au Burkina Faso [Spatial and temporal dynamics of woody cover in the Kou watershed, Burkina Faso]. *International Journal of Innovation and Applied Studies, **Vol. 41*(289-299), 11**.

Deressa, T., Hassan, R. M. et Ringler, C., 2008: Measuring Ethiopian Farmers' Vulnerability to Climate Change Across Regional States. *Environment and Production Technology Division*.

GIEC, 2001 : Bilan 2001 des changements climatiques : Conséquences, adaptation et vulnérabilité ; Contribution du Groupe de travail II au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat ; PNUE, OMM; 101.

Kerstin Fritzsche, Stefan Schneiderbauer, Philip Bubeck, Stefan Kienberger, Mareike Buth, Marc Zebisch et Walter Kahlenborn, 2015: *Guide de référence sur la vulnérabilité, Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées,* GIZ, 177.

MEEA., 2024 : *Plan National d'Adaptation aux changements climatiques (PNA) du Burkina Faso (2024-2028)* (p. 166) [Rapport Final]. MEEA. https://mrv-burkina.bf/adaptation.html

Pavageau, C., Locatelli, B., Tiani, A.-M. et Zida, M., 2013 : Cartographier la vulnérabilité aux variations climatiques. *Document de travail 118p*.

Wellens, J.,2014 : *Un cadre pour l'utilisation des outils d'aide à la décision à diverses échelles spatiales pour la gestion de l'agriculture irriguée en Afrique de l'Ouest* [Docteur en Sciences]. Université de Liège.

Zaatra, A.,2021 : *Vulnérabilité des exploitations agricoles et préférences d'adaptation au changement climatique dans le territoire du Pays Haut Languedoc et vignoble (PHLV)* [Doctorat en Economies, Université Montpellier]. https://theses.hal.science/tel-03548914**v1**

PRATIQUES CULTURALES ET QUALITE DES EAUX DE FORAGE DANS LE DEPARTEMENT D'HARAZ-AL-BIAR AU TCHAD

Angeline KEMSOL NAGORNGAR[1], Djim-Assal DATOLOUM[1], Nadine HINYABE BOURNEBE[2] .

1 Centre National de Recherche pour le Développement, Service Télédétection et SIG/ BP 1228 N'Djamena (Tchad). Téléphone/Whatsapp : +235 66 20 75 63
E.mail : akemsol@gmail.com (Auteure correspondante) ou djimasdatoloum@gmail.com (2e auteur)
2 Université de N'Djamena, Laboratoire Hydro-Géosciences et Réservoirs (3e auteure)
E.mail : bournebenadine@gmail.com

Résumé *: L'utilisation des images Sentinel-2 à 10m de résolution spatiale a permis de cartographier les potentialités agricoles et l'occupation du sol du Département d'Haraz-Al-Biar au Tchad. La superficie totale d'occupation du sol étudiée est de 154 185 ha, répartis en : culture irriguée ou de décrue 32 077 ha, plan d'eau 13 737 ha, prairie marécageuse 30 054 ha, mosaïque végétation naturelle-culture pluviale 69 653 ha et verger 8 753 ha. Parallèlement les analyses des caractéristiques hydrochimiques de l'eau souterraine ont été réalisées. Les résultats ont révélé que le pH varie de 6,5 à 8,5 avec une moyenne de 7,56 tandis que la température fluctue entre 29°C et 42,1 °C. La conductivité quant à elle, oscille entre 112 µs/cm et 4470 µs/cm, dépassant la limite maximale de 2500 µs/cm établie par l'OMS/Tchad.*

Mots-clés : *Cultures irriguées et de décrue, Qualité d'eau, Image Sentinel-2, Haraz-Al-Biar.*

Abstract*: **Cultural practices and quality of drilling water in the Haraz-Al-Biar Department of Chad.** The use of Sentinel-2 images at 10 m spatial resolution made it possible to map the agricultural potential and land use of the Haraz-Al-Biar Department in Chad. The total land use area studied is 154,185 ha, divided into: irrigated or flood recession crops 32,077 ha, water body 13,737 ha, marshy meadow 30,054 ha, natural vegetation-rainfed crop mosaic 69,653 ha and orchard 8,753 ha. At the same time, analyses of the hydrochemical characteristics of the groundwater were carried out. The results revealed that the pH varies from 6.5 to 8.5 with an average of 7.56 while the temperature fluctuates between 29°C and 42.1 °C. The conductivity, for its part, oscillates between 112 µs/cm and 4470 µs/cm, exceeding the maximum limit of 2500 µs/cm established by WHO/Chad*

Keywords: *Irrigated and flood recession crops, Water quality, Sentinel-2 image, Haraz-Al-Biar.*

Introduction

L'agriculture, pratiquée par 80% de la population tchadienne, constitue une richesse majeure du pays, avec des systèmes de production variant selon les régions. Les parcelles pluviales (moins de 1 ha en moyenne) sont dédiées aux cultures vivrières, tandis que les 43 000 ha irrigués (dont 6 000 en irrigation complète selon PIREA 2015) accueillent des cultures de rente comme le riz et les légumes. Cependant, la mauvaise gestion des ressources et les changements climatiques menacent ces systèmes agricoles.

Le département d'Haraz Al Biar, en bordure du lac Tchad (province d'Hadjer Lamis), présente un fort potentiel agricole avec 2 à 3 campagnes annuelles. Zone clé pour les céréales (maïs, sorgho, riz) et le maraîchage, elle approvisionne N'Djamena et les marchés locaux.

Cette étude vise à analyser les pratiques culturales et leurs impacts hydriques, avec trois objectifs spécifiques : d'identifier les activités agricoles dominantes, de cartographier l'occupation des sols et d'évaluer la qualité des eaux de forage (usage agricole et domestique).

1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est extraite du Département d'Haraz-Al-Biar, dont le Chef-lieu est Massaguet, située dans la Province d'Hadjer-Lamis, à une centaine de kilomètre de N'Djamena la Capitale du Tchad. Cette zone est centrée sur les latitudes 12°30′ et 13°00′ Nord et les longitudes 14°30′ et 15°10′ Est, couvrant une superficie de 154 185 hectares (fig.1). La

population du Département est estimée en 2022 à 637 150 personnes dont 50% de femmes (Banque Mondiale 2022).

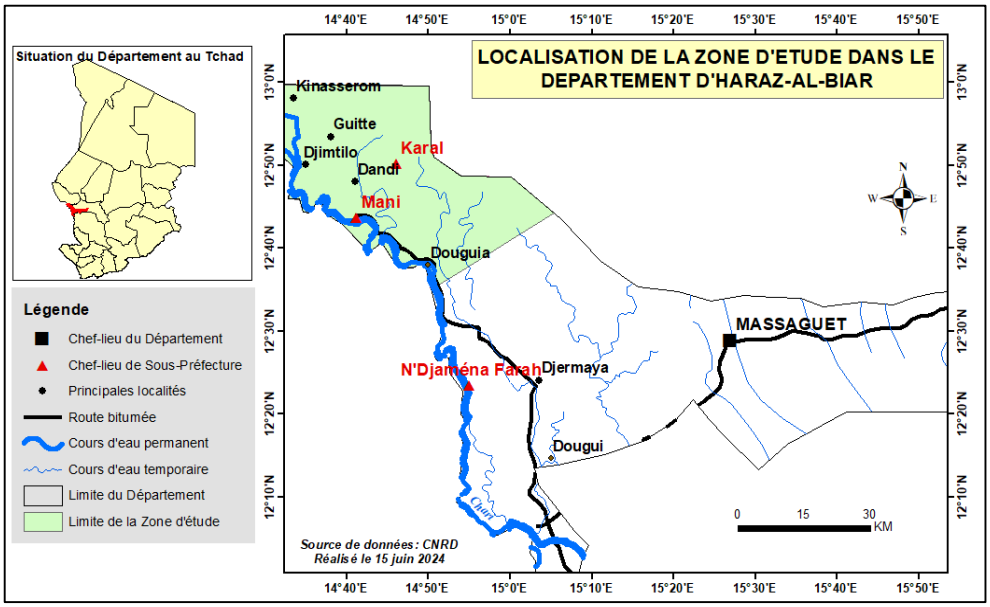


Figure 1. Carte de situation de la zone d'étude

Le climat d'Hadjer-Lamis est de type tropical sec avec une saison sèche de 8 mois allant d'Octobre à Mai et une saison pluvieuse de Juin à Septembre. Selon les données de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM) de la station de Massakory, chef-lieu de la Province, sur une période de 30 ans, (de 1993 à 2023), les cumuls pluviométriques varient de 200 à 600 mm par an. Plus de la moitié de ces précipitations sont enregistrées aux mois de juillet et Août. Selon la même source, la température moyenne annuelle atteint le maximum en Avril avec la valeur de 41,8°C et le minimum en janvier avec 14,2°C

La région d'Hadjer Lamis présente des formations alluviales du paléocène au quaternaire avec des affleurements granitiques à Ngoura, Moïto et Dandi Karal selon PIREA en 2015. La nappe phréatique présente des caractéristiques variables selon les dépôts sédimentaires et le climat. Les fleuves Chari et Logone, permanents, traversent la zone avant de rejoindre le lac Tchad, complétés par des cours d'eau saisonniers.

Le département d'Haraz Al Biar combine plaines sèches et inondables. Les sols sableux conviennent aux cultures pluviales comme le mil et le sorgho, tandis que les vertisols des zones humides, fertiles grâce aux sédiments, permettent des cultures irriguées et de décrue ainsi que le pâturage en saison sèche.

La zone présente une savane arbustive au sud, une steppe au nord-est et une forêt galerie à l'ouest. Les espèces dominantes incluent Acacia nilotica, Balanites aegyptiaca et Khaya senegalensis, avec des zones cultivées en mosaïque.

L'économie repose sur l'agriculture diversifiée, l'élevage bovin et caprin, la pêche commerciale et des industries comme la raffinerie de Djermaya et les carrières de Ngoura et Dandi selon PIREA en 2015. Les produits agricoles et halieutiques sont commercialisés localement et vers le Cameroun voisin.

2. Matériel et Méthodes

Pour réaliser ce travail, quelques matériels et des méthodes allant de la collecte de données sur le terrain aux traitements au laboratoire ont été utilisées.

2.1. Matériel utilisé

Lors de la collecte de données terrain (5-10 novembre 2023), le matériel suivant a été employé : une image Sentinel-2 imprimée en format A1, un GPS pour relever les coordonnées des occupations du sol et forages, une sonde piézométrique pour mesurer les niveaux statiques, un appareil multi-paramètre (température, conductivité, pH) et des questionnaires socio-économiques.

Pour le traitement des données, les logiciels Envi, ArcGIS et Microsoft Office ont été utilisés en laboratoire.

2.2. Méthodologie

Pour mener à bien ce travail, trois méthodes ont été utilisées : les enquêtes socioéconomiques, la cartographie de l'occupation du sol et la mesure des paramètres physico-chimique des eaux de forage du Département.

Concernant les enquêtes, 50 fiches questionnaires simplifiées ont été adressées aux ménages individuels et aux groupements familiaux ou ethniques des localités de Mani, Douguia, Karal, Dandi et Guitté. Les enquêtes sont axées sur les saisons culturales, les spéculations cultivées, les techniques culturales et les outils (ou matériels) employés, les difficultés rencontrées et la destination de la récolte.

Pour la cartographie, il a été utilisé les images satellitaires Sentinel-2, provenant du site officiel du programme Copernicus. Les données prétraitées, sont gratuitement accessibles à l'adresse **https://scihub.copernicus.eu**. Les images sont constituées de 13 bandes spectrales avec des résolutions spatiales comprises entre 10 et 60m. Dans la présente étude, 3 bandes avec une résolution spatiale de 10m (bandes 2, 3 et 8 correspondants respectivement aux longueurs d'onde vert, rouge et proche infra-rouge) ont été utilisées. S'agissant de culture irriguée, le choix des images du mois de Novembre s'avère nécessaire pour une bonne évaluation des cultures des zones exploitées. C'est ainsi que la prise de vue du 19 novembre 2023 a été utilisée. Pour le traitement des images satellitaires, deux méthodes ont été utilisées. Il s'agit de la méthode de classification supervisée par maximum de vraisemblance sous le logiciel Envi suivie de la digitalisation sous le logiciel ArcGis pour affiner la cartographie des zones de cultures.

La mesure des paramètres physico-chimiques (température, potentiel d'hydrogène, conductivité) sur le terrain a été réalisée à l'aide d'un multi-paramètre introduite dans l'eau contenue dans un récipient.

3. Résultats et Discussions

Les résultats d'enquêtes ont révélé que l'agriculture demeure traditionnelle dans le Département d'Haraz-Al-Biar. La culture pluviale domine le paysage à cause de la vétusté du matériel d'irrigation traditionnelle et la cherté du matériel moderne (prix du carburant élevé (un litre de super est vendu à 1 200 FCFA sur le terrain et l'accès limité à l'énergie solaire). L'utilisation des pesticides (insecticide et herbicide) non contrôlés et de l'urée par plus de 75% de ménages enquêtés est de jouer sur la qualité de l'eau dans la zone. Par manque de moyens, certains ménages utilisent la déjection animale. Même la riziculture est pratiquée en saison pluvieuse. Seules quelques cultures bénéficient de l'irrigation en saison sèche froide (maïs, niébé et cultures maraîchères). Le calendrier cultural est présenté au tableau 1.

Tableau 1. Calendrier cultural de la zone d'étude

Spéculation/Saison	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S

Saison												
Saison humide												
Contre-saison												
Principales cultures												
Mais, sorgho, riz … pluviaux	Récolte								PT	S	D	
Tomate, gombo Pluviale	Récolte								PT	S	D	R
Mais, Niébé contre saison froide	PT	S	D			R						
Culture maraichères (oignon, tomate, piment, gombo, poivron, betterave, …)	PT		PEP	TP/S		D						

R= récolte, **PT**= préparation de terre, **S**= semis, **Pep**= pépinière, **D**= désherbage, **TP**= transplantation

La carte d'occupation du sol, réalisée à partir du traitement de l'image satellitaire Sentinel-2 se présente comme suit (fig.3) :

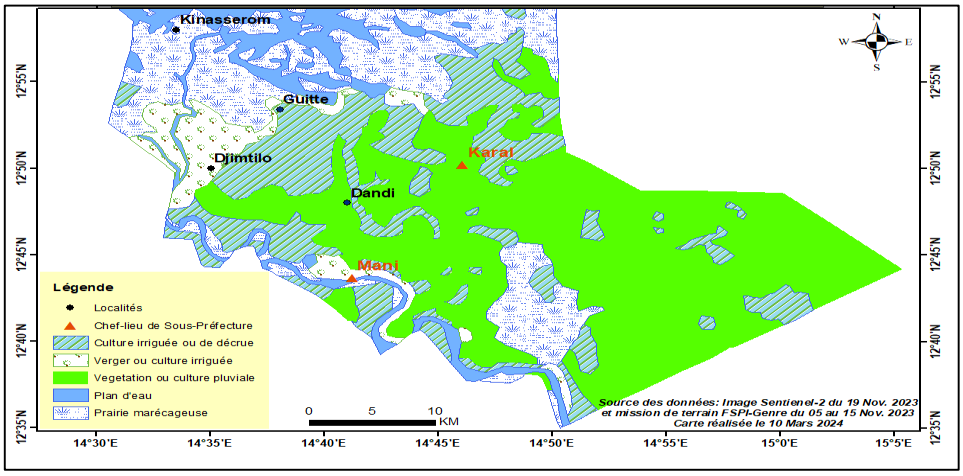


Figure 3. Carte de l'occupation du sol du Département d'Haraz-Al-Biar

Les principales classes d'occupation du sol cartographiées sont :

1. Végétation et cultures pluviales, 45,1% : c'est la plus grande classe qui comporte tout type de végétation arbustive à arborée dense ou clairsemée ainsi que les zones de culture pluviale (riz, maïs, mil, sorgho, arachide, niébé, concombre, gombo, oseille, piment, tomate, etc.) ;

2. Culture irriguée ou de décrue, 20,8% : il s'agit notamment de la maïsiculture, des cultures maraichères (oignon, ail, tomate, gombo, oseille, piment, etc.), des tubercules (patate douce) et du sorgho de décrue (berbéré). Suivant les besoins en eau de la plante et les disponibilités de la réserve utile du sol, ces cultures sont pratiquées exclusivement en décrue avec l'eau résiduelle du sol (cas du berbéré) ou avec une irrigation d'appoint pour les autres spéculations ;

3. Prairie marécageuse, 19,5% : cette classe comporte la végétation inondée semi-permanente des bordures du lac Tchad et des principaux cours d'eau ;

4. Plan d'eau, 8,9% : c'est l'unité regroupant les cours d'eau principaux (Chari-Logone), les cours d'eau secondaires et la partie sud du lac Tchad visible sur l'image ;

5. Verger ou culture irriguée, 5,7% : cette classe comporte des grands domaines d'arboriculture (manguiers, agrumes, goyaviers, papayer, etc.) qui longe le fleuve Chari-Logone ;

Les superficies des unités d'occupation du sol cartographiées sont consignées dans le tableau 2 :

Tableau 2. Superficies des unités d'occupation du sol en hectare

Classes	**Superficie en hectare (ha)**	**Pourcentage (%)**
1. Végétation ou culture pluviale	69 563,30	45,1
2. Culture irriguée ou de décrue	32 077,06	20,8
3. Prairie marécageuse	30 054,16	19,5
4. Plan d'eau	13 726,85	8,9
5. Verger ou culture irriguée	8 753,12	5,7
Total	**154 184,50**	**100**

Les résultats obtenus confirment les travaux de Kemsol Nagorngar (2018) sur la puissance de la télédétection comme outil performant pour cartographier les différentes classes d'occupation du sol en général et les zones de cultures en particulier.

Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi-paramètre introduite dans l'eau contenue dans un récipient. Il s'agit de : la température, potentiel d'hydrogène (pH) et la conductivité.

La température mesurée varie d'un point d'eau (Forage) à un autre, avec des valeurs se situant entre 29°C et 42,1 °C soit une moyenne de 34,5°C (fig. 4).

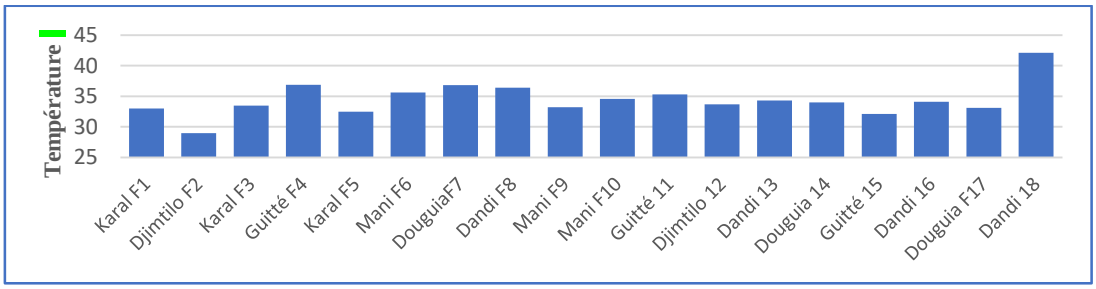


Figure 4 Variation de la température

Loukma et al. (2017) ont obtenu des valeurs de température semblables dans leur étude sur la caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs dans le Centre du Tchad.

Le potentiel d'hydrogène est également déterminé à l'aide de multi paramètre sur le terrain. Il permet de connaitre le degré d'alcalinité ou de basicité. Il varie de 6,50 à 8,52 avec une moyenne de 7,56 (fig.5).

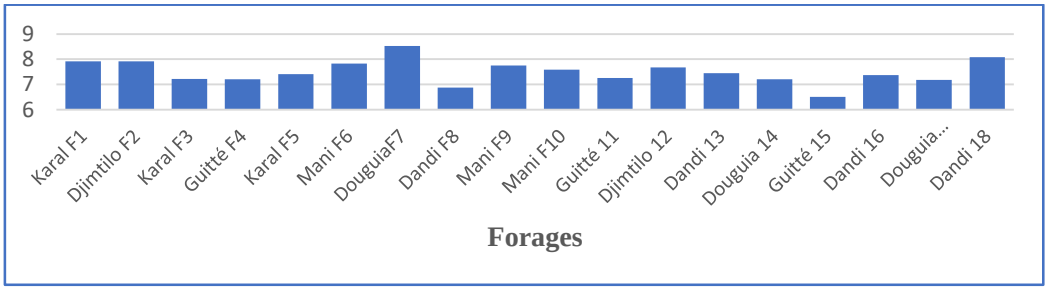


Figure 5. Variation du potentiel d'hydrogène

La conductivité constitue un indicateur de la minéralisation globale des eaux. Les points d'eau prélevés présentent une forte présence de minéraux (fig.6).

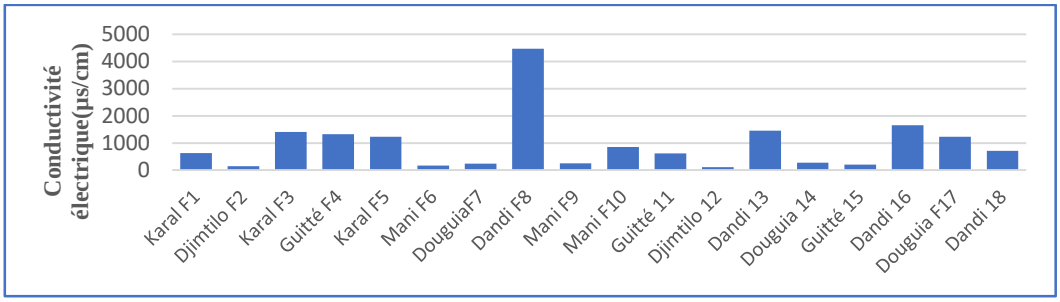


Figure 6. Variation de la conductivité électrique

La conductivité électrique de la zone varie de 112 à 4470 µs /cm, à l'exception de l'échantillon de Dandi F8 qui est de 4470 µs /cm, qui dépasse la norme établie par l'OMS qui est de 2500 µs /cm. Cela est dû au fait que la région se trouve dans une zone de dépression et est caractérisée par des activités pastorales, agricoles avec le ruissellement des nutriments par l'eau de pluie et son infiltration dans le sol. Selon les études de Kouassi et al. (2013), la nature lithologique du sol influe également sur la conductivité électrique des eaux. Mahamat Nour et al (2017), ayant travaillé dans la même localité, ont montré que les zones les plus riches en minéraux se trouvent en bordure du fleuve Chari, ce qui explique la dissolution des composés chimiques pendant les crues.

Conclusion

L'étude a permis à partir des enquêtes socioéconomiques d'établir le calendrier agricole du Département d'Haraz-Al-Biar. Cette zone est riche avec plusieurs saisons culturales (pluviale, décrue, irriguée, élevage et pêche). Malheureusement, la vétusté du matériel et le changement de saisonnalité ne permettent pas de s'adapter au changement climatique. L'utilisation des images satellitaires Sentinel-2 a permis de cartographier précisément les zones agricoles et les autres unités d'occupation du sol.

Les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines mesurés sur le terrain montrent qu'à l'exception de quelques forages qui nécessitent des études bactériologiques, la qualité d'eau est assez bonne pour la consommation humaine.

Bibliographie

Banque Mondiale 2022 : Analyse des contraintes et opportunité pour le développement du sous-secteur agricole. Résume de l'analyse et note d'orientation. (https://www.banquemondiale.org)

Loukman B., Nakolendousse S., Mahamat Nour A. And Nguinambaye Memti M. 2017 : Caractérisation hydrochimique de la nappe de Yao et ses environs : relations entre eaux de surface (lac-Fitri) et eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences 11(3) : 1336-1349, 2017. DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i3.33*

Kemsol Nagorngar A., 2018 : Dynamique spatiale des cultures de décrues dans les zones lacustres soudano-sahélienne de 1985 à 2015. *Thèse de doctorat. Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan-Cocody. (Côte d'Ivoire). 202p*

Kouassi A, Mamadou A, Ahoussi Ke, Biemi J., 2013 : Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques : cas de la Cote d'Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Techno., 21-22 :138-166*

Mahamat Nour A., Abderamane H., Ngounou Ngatcha B., Deschamps P., Bouchez C. 2017: Characterization and Aquifer Functioning System of Haraz Al Biar (North Chari Baguirmi). *International Journal of Current Research and Academic Review, 2017, 5 (12), pp.52- 64*

PIREA, 2015 **:** Plan d'Investissement Régional Eau et Assainissement 2015-2030 dans le Hadjer-Lamis. *Rapport d'étude menée dans le cadre du programme « Accès à l'Eau potable et Assainissement du 10e FED » financée par l'Union Européenne et conçue par le bureau d'étude SUEZ Consulting, 119p*

ANALYSE DES STRATEGIES D'ADAPTATION FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE DE DIFFA, NIGER

Hadiza KIARI FOUGOU[1], Boukar Kellou KAKA KIARI[2], Hadiza ADO SALIFOU[1], Aboukar CHETIMA[1]

*[1]Institut Supérieur en Environnement et Ecologie, Université de Diffa, BP78 Diffa, Niger*hadiza.kiarifougou@gmail.com
[2]Faculté des Sciences Agronomiques et Ecologiques, Université de Diffa, BP78 Diffa, Niger

Résumé : *La présente étude porte sur les stratégies d'adaptation des populations face au Changement Climatique dans la commune de Diffa . L'agriculture et l'élevage sont les principales activités économiques de la commune. Ces activités sont fortement menacées par les changements climatiques. L'objectif général de cette étude est de comprendre les différentes stratégies d'adaptation des populations face au Changement Climatique dans la commune urbaine de Diffa. Pour cela, il a été mené une enquête par questionnaire auprès des paysans et des guides d'entretiens adressés aux personnes ressources. Le choix d'individus à enquêter a été fait de manière aléatoire au niveau de six (6) villages administratifs et quatre (4) quartiers urbains de Diffa. La taille de l'échantillon est de 250 paysans. Les résultats de cette étude montrent que Diffa fait face aux effets du Changement Climatique qui se manifeste entre autres par une augmentation de la température à la surface de la terre, l'intensification des catastrophes naturelles comme les inondations et les sècheresses. Les conséquences de ces modifications climatiques sont à la fois environnementales, sociales et économiques. En effet, la Commune de Diffa se traduit par la vulnérabilité des ménages et l'insuffisance des capacités d'intervention des acteurs pour faire face aux phénomènes du Changement Climatique. Pour faire face aux effets néfastes, les populations rurales ont adopté des stratégies locales de résilience qui sont des réponses aux conséquences du Changement Climatique afin d'assurer une production suffisante.*

Mots clés *: Changement Climatique, risques, stratégies, adaptation.*

Abstract: Analysis of adaptation strategies in the face of climate change in the town of Diffa, Niger. *This study focuses on the resilient strategies of populations in the face of Climate Change in the municipality of Diffa. Agriculture and livestock farming are the main economic activities of the commune. These activities are highly threatened by climate change. The general objective of this study is to understand the different resilient strategies of populations in the face of Climate Change in the urban commune of Diffa. To this end, a questionnaire survey was conducted among farmers and interview guides were sent to resource persons. The choice of individuals to be surveyed was made randomly in six (6) administrative villages and four (4) urban districts of Diffa. The sample size is 250 farmers. The results of this study show that Diffa is facing the effects of Climate Change, which manifests itself among other things in an increase in the average temperature of the earth's surface, the intensification of natural disasters such as floods and droughts. The consequences of these climate changes are environmental, social and economic. Indeed, the municipality of Diffa is reflected in the vulnerability of households and the inadequacy of the the intervention capacities of actors to deal with the phenomena of Climate Change. To cope with the adverse effects, rural populations have adopted local resilience strategies that are responses to the consequences of Climate Change in order to ensure sufficient production.*

Keywords : *Climate change, risks, strategies, resilience.*

Introduction

Le Changement Climatique est un phénomène global de transformation du climat, qui modifie les régimes météorologiques, les précipitations, le cycle hydrométrique affectant ainsi l'environnement, la biodiversité et les populations humaines. Selon le Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2014 p) affirme que la terre est soumise non seulement à des variations naturelles du climat, mais aussi à des changements climatiques dus à l'activité anthropique (Taiqui *et al.,* 2014). Le terme « changement climatique » désigne toute évolution du climat dans le temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Il se manifeste par une augmentation de la température moyenne à la surface de la terre, mais aussi par l'intensification des catastrophes naturelles dévastatrices (fonte des glaciers, inondations, sècheresses, canicule…etc.) et leur ampleur (GIEC, 2014). Les

conséquences de ses dérèglements climatiques sont à la fois environnementales, sociales et économiques (G. Nkwusi *et al.,* 2015 p.1-5).Pour faire face à la gravite de ce phénomène, les communautés se sont engagées dans un processus de réflexion sur les stratégies résilientes afin de répondre à ce défi (Taiqui *et al.,* 2014 p.12-47). En effet, la résilience d'un système correspond à sa capacité à absorber des perturbations et à se réorganiser, tandis qu'il subit des changements tout en conservant la même fonction, structure, identité et les mêmes rétroactions ou la capacité d'adaptation au stress (Adger *et al.,* 2007 p. 5-28; FAO, 2017). L'objectif général de cette étude est de comprendre les différentes stratégies d'adaptation des populations face au Changement Climatique dans la commune de Diffa.

1. Matériel et méthodes

1.1. Site de l'étude

Cette étude a été réalisée dans la Commune de Diffa. Elle est située à l'extrême Sud-est du Niger sur la route Nationale N°1, à 1360 km de Niamey. Elle s'étend sur un rayon de 20 km de part et d'autre du centre urbain avec une superficie estimée à 229 km^2. Elle compte 21 villages et 6 quartiers. La commune fait frontière à l'Est et au Nord avec la commune rurale de Gueskérou et à l'Ouest avec celle de Chétimari. Au Sud elle est limitée par la République Fédérale du Nigeria sur plus de 30 km matérialisés par la rivière Komadougou Yobé (PDC-CUD, 2022). Pour cette étude six (6) villages administratifs (Lada, Boulongouri, Bagara, Djorikoulo, Boulongou Yaskou, Digargo et Awaridi) et quatre (4) quartiers urbains (Diffa-Koura, Sabon-Carré, Diffa-Château et Garin-Dole).

1.2. Echantillonnage et enquête terrain

La démarche générale adoptée au cours de cette étude repose sur l'approche qualitative et quantitative. Le choix d'individus à enquêter a été fait de manière aléatoire au niveau des six (6) villages administratifs (Lada, Boulongouri, Bagara, Djorikoulo, Boulongou Yaskou, Digargo et Awaridi) et quatre (4) quartiers urbains (Diffa-Koura, Sabon-Carré, Diffa-Château et Garin-Dole) de la commune urbaine de Diffa. Au niveau de chaque village et quartier, cinq (5) entretiens et deux (2) focus group ont été réalisés dont l'un a été discuté avec les hommes et l'autre avec les femmes. La moyenne de personnes par focus est de dix (10). Ce type de questionnaire (focus) adressé au groupe a l'avantage de disposer d'informations qualitatives à travers une discussion. Le focus groupe est un moyen pour recueillir des données et rester concentré l'analyse. Au total 250 paysans ont été retenus dans diverses zones agro- écologiques de la Commune de Diffa.

1.3. Saisie, Traitement et Analyse des Données

Les données qualitatives et questions ouvertes sont traitées par regroupement thématiques afin de dégager les orientations et d'en tirer la conclusion. Quant aux données quantitatives et qualitatives codées aux préalables, elles sont d'abord saisies dans le logiciel Excel, puis soumises à des traitements statistiques et graphiques. Le logiciel Excel Microsoft office a été utilisés pour la saisie et l'analyse des données.

2. Résultats

2.1 Analyse de la perception du changement climatique par les populations

L'appréciation du Changement Climatique et de la variabilité climatique par les populations reste diverse et variée. En effet, les changements observés par les paysans se limitent aux phénomènes extrêmes, qui se traduisent par les sècheresses récurrentes, la recrudescence des inondations, l'irrégularité des pluies, l'élévation de température, la perturbation dans la durée

des saisons dans l'année. Sur le plan biophysique, les changements se manifestent par le décalage de périodes de semis, la disparition des points d'eau temporaires, la dégradation de ressources végétales, la disparition progressive de la biodiversité. Aussi, l'on constate la baisse de rendements, la modification du système fourrager, les changements sensibles de la physionomie du paysage et la disparition de la faune. Sur le plan social, les répercussions du Changement Climatique se font sentir au niveau de la paupérisation des ménages, du tissus social, la perte de confiance et la méfiance réciproque entre et au sien des communautés locales.

2.2 Activités de production

Les résultats de cette étude montre que l'agriculture constitue la principale activité des populations de la Commune de Diffa et concerne 78 % de personnes. D'autres activités telles que l'élevage représente 16 % , la pêche 4%, l'artisanat 4% et les autres activités 1% de la population et jouent un rôle non négligeable dans l'économie de la Commune.

2.3 Identification et évaluation des impacts des risques climatiques

Le Changement Climatique représente une menace pour le développement des activités de production des populations de la Commune de Diffa. En effet, les incertitudes climatiques ont des influences sur la dynamique des systèmes de productions principalement agricole et pastorale.. Les phénomènes météorologiques extrêmes considérés comme risques climatiques dans la commune sont notamment les inondations, l'irrégularité des pluies, les sècheresses, l'augmentation de température et les canicules. Ces risques peuvent avoir des impacts socioéconomiques, notamment les pertes économiques, la diminution de revenus et de moyens de subsistance des populations, mais également des impacts sur l'environnement comme la dégradation des terres. L'évaluation des impacts des risques climatiques consiste à évaluer les impacts liés aux risques climatiques. L'évaluation des impacts du changement climatique sur les ressources dans la commune urbaine de Diffa se présente comme suit: ensablement des cours d'eaux, déforestation, disparition de certaines espèces fourragères, disparition de certaines espèces ligneuses, désertification, irrégularité des pluies, pauvreté des sols, variation de température avec hausse, apparition des ennemis de cultures, manque d'eau de pluie, rareté des points d'eau de surface et puits pastoraux, réduction des fourrages, développement des maladies climato-sensible. Aussi, la commune assiste à une déforestation massive entrainant la disparition des moyens de subsistance des populations rurales vulnérables, du fait de l'insécurité et des effets néfastes du Changement Climatique tel que les inondations et les sècheresses.

2.4 Analyse des stratégies d'adaptation

Pour faire face aux risques liés au changement climatique, les paysans réagissent pour préserver et maintenir leurs moyens d'existence. Les stratégies d'adaptation utilisées par les acteurs locaux sont multiples et tiennent compte des contraintes et conditions socio-économiques et culturelles des différentes zones. Elles prennent en compte l'information et la sensibilisation sur le Changement Climatique, l'amélioration des pratiques culturales et le développement des cultures irriguées, la mise au point des variétés améliorées et lutte contre les ennemis de cultures, la diversification des cultures et pratique de la Régénération Naturelle Assistée (RNA), la mise en jachère et restauration des terres dégradées et les activités Génératrices de Revenus (AGR), la réduction de la taille du troupeau, la fabrication des blocs multi nutritionnels et la conservation de fourrages

2.5 Évaluation de la vulnérabilité

Le Tableau 1 présente la matrice d'évaluation de la vulnérabilité de la commune urbaine de Diffa.

Tableau 1. Matrice d'évaluation de la vulnérabilité de la commune urbaine de Diffa

Matrice de vulnérabilité de la commune de Diffa				
Risques climatiques	**Sècheresse**	**Inondations**	**Appauvrissement des sols**	**Érosion**
Impacts	▪ Manque d'eau ▪ Augmentation de la température ▪ Disparition du couvert végétal ▪ Faibles ressources fourragères ▪ Diminution des rendements agricoles ▪ Vents violents	▪ Débordement de la rivière Komadougou Yobé ▪ Inondation et réduction des surfaces cultivables ▪ Destruction des champs et cultures ▪ Isolement des champs et cultures ▪ Développement des maladies hydriques	▪ Dégradation des terres ▪ Diminution des végétaux ; ▪ Diminution des matières organiques ; ▪ Diminution des rendements agricoles	▪ Dégradation des sols et terres ▪ Diminution de la fertilité du sol ▪ Ensablement des cours d'eaux
Autres causes non climatiques	▪ Faible entretien des points d'eau, ▪ Mauvaise gestion ressources foncières et végétales	▪ Faible réhabilitation d'ouvrages d'évacuation d'eau en milieu urbain ▪ Faible aménagement des bassins versants	▪ Dégradation des ressources végétales ▪ Mauvaises pratiques culturales	▪ Dégradation du couvert végétal ▪ Etat du terrain
Stratégies de résilience	▪ Mise en œuvre des techniques locales de gestion des risques climatiques ; ▪ Mise en valeur de la nappe souterraine et autres sources d'eau permanente	▪ Système d'alerte rapide ; ▪ Ne pas cultiver les zones à risque ▪ Aménager les zones inondables et construire des digues de protection	▪ Techniques de CES/DRS ▪ Amendement/fumure organique	▪ Reboisement et autres Techniques de CES/DRS
Stratégies adaptatives alternatives	▪ Multiplication des forages ▪ Construction des mini-barrages et retenues d'eau	▪ Ne pas cultiver les zones à risque ▪ Aménager les zones inondables et construire des digues de protection	▪ Reboisement ▪ Techniques de CES/DRS	▪ Reboisement ▪ Techniques de CES/DRS
Condition de réalisation	▪ Mobilisation et gestion équitable des ressources ; ▪ Visa des autorités ▪ Expertise technique	▪ Répartition équitable des ressources ▪ Visa des autorités ▪ Expertise technique	▪ Appui des autorités ▪ Expertise technique ▪ Moyens matériels	▪ Appui des autorités ▪ Expertise technique

Source : Données d'enquête de terrain 2023

2.6 Renforcement de la capacité d'adaptation

Les populations locales subissent directement les conséquences du changement climatique, qui perturbent leurs conditions de vie et menacent leurs moyens de subsistance. La dégradation des ressources naturelles et l'insécurité alimentaire croissante exigent des solutions urgentes pour renforcer la capacité d'adaptation de ces communautés vulnérables. Les acteurs soutiennent les efforts d'adaptation des communautés à travers des activités telles que le système d'alerte précoce, l'aide alimentaire, la prévision, les préventions, les enjeux, les stratégies locales de gestion des risques climatiques, la gestion avant-crise et la gestion de crise.

3. Discussion

Les impacts liés aux risques climatiques évoqués par les populations sont relatifs à l'irrégularité des pluies, à l'augmentation de la température, à l'appauvrissement des sols et à la baisse de rendement agro-pastorale. Ces impacts font développer des techniques de d'adaptation qui sont des réponses aux conséquences du Changement Climatique afin d'assurer une production suffisante. Il s'agit de: l'information et la sensibilisation sur le Changement

Climatique, l'action sur l'Environnement à travers les techniques de restauration et de conservation des sols et terres dégradés, l'action sur l'agriculture à travers les techniques d'améliorer des pratiques culturales et le développement des cultures irriguées, la mise au point des variétés améliorées et lutte contre les ennemis de cultures, la diversification des cultures et pratique de la Régénération Naturelle Assistée (RNA), la mise en jachère et restauration des terres dégradées, l'action sur l'Elevage avec les techniques comme la réduction de la taille du troupeau, la fabrication des blocs multi nutritionnels, la conservation de fourrages, le nomadisme (Agossou *et al.,* 2012 p.13-25 ; Gyimah *et al.,* 2020 p.3-25). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Taiqui *et al.,* 2014 p.12-47. De nombreuses études ont montré que le Changement Climatique global se traduit localement par plusieurs évolutions qui modifient les conditions de productions (Jean et Yvette, 2016 p11/29). Les difficultés liées aux fluctuations climatiques sont à la base d'une dynamique de la production agricole et par conséquent de la sécurité alimentaire (Jean et Yvette, 2016 pp.11/29, FAO, 2020 p). Les variabilités climatiques ont un impact direct sur la production agricole, puisque les systèmes agricoles dépendent en partie de la nature du climat (Boko *et al.,* 2007 p.32-34). Dans l'analyse des stratégies de résilience face au Changement Climatique, des actions et techniques retenues témoignent de la convergence des déclarations fournies par les populations. En effet, la mise en œuvre de ces stratégies résilientes est à la base d'une dynamique de la production agropastorale. Le faible rendement agricole dépend à la fois du système climatique complexe du continent africain et de l'interaction de ce système avec les défis socio-politiques comme la gouvernance et ceux socio-économiques tels que la pauvreté endémique, l'accès limité aux marchés des capitaux et aux marchés mondiaux d'écoulement des produits, la dégradation de l'écosystème (G. Nkwusi *et al.,* 2015 p.4-5 ; Agossou *et al.,* 2012 p.13-25), les catastrophes et conflits complexes ainsi que l'urbanisation qui pourraient miner la capacité des communautés à s'adapter aux changements climatiques (Boko *et al.,* 2007 pp.32-34). Dans l'analyse de la manifestation actuelle du climat, plusieurs indicateurs d'impacts ont montré que la variabilité climatique influence fortement les activités de production ainsi que les mouvements des populations (Banzoussi *et al,.* 2024 p.12-22). L'analyse de la moyenne interannuelle de température sur une période de 30 ans montre une tendance à la baisse de température durant ces trois décennies (GIEC, 2014 p ; Ulrich *et al.,* 2013 p.11-17). L'analyse de précipitations sur une période de 30 ans également montre une tendance à la hausse des pluies (Ulrich *et al.,* 2014 p.13-20). Le paradoxe est que les précipitations sont bonnes ces dernières années mais que le rendement agricole reste faible d'où l'influence d'autres paramètres liés au climat (G. Nkwusi *et al.,* 2015 p.3-5). L'enjeu capital pour l'adaptation au Changement Climatique réside donc dans le renforcement des capacités des communautés locales et des collectivités territoriales pour la gouvernance des écosystèmes et de la biodiversité (Taiqui *et al.,* 2014 p.28-47 ; G. Nkwusi *et al.,* 2015 p.4-5).

Conclusion

Les manifestations de phénomènes climatiques comme l'augmentation de la température moyenne, l'irrégularité des pluies dans le temps et dans l'espace, le mouvement des vents, les modifications des saisons au cours de l'année, les sécheresses cycliques ainsi que la recrudescence des inondations. L'une des conséquences les plus directes du Changement Climatique dans la Commune de Diffa est son impact sur l'agriculture et l'élevage, avec un effet direct sur la sécurité alimentaire des ménages. Ainsi, pour réduire les risques d'impacts climatiques sur les activités de production, les populations locales ont développé et mis en œuvre plusieurs stratégies d'adaptation. Malgré l'existence d'un dispositif de prévention et de gestion de crises et catastrophes, la capacité d'adaptation des populations de la Commune de Diffa face au changement climatique semble limitée, et la situation actuelle se traduit par la vulnérabilité des ménages et l'insuffisance des capacités d'intervention des acteurs pour y faire

face aux risques. Ainsi, pour atténuer les effets néfastes des changements climatiques et réduire la vulnérabilité, les populations et les décideurs devront intégrer les risques potentiels identifiés dans les plans de développement local et communal.

Bibliographie

FAO (Food and Agriculture Organization). 2017. Relative au Changement Climatique, juillet 2017.

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2014. Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse.

Jean Bosco K. Vodounou et Yvette Onibon Doubogan, « Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 794, mis en ligne le 15 novembre 2016, consulté le15 novembre 2016. URL : http://cybergeo.revues.org/27836

Kiari-Fougou. 2019. Rapport d'étude sur la caractérisation climatique de la commune de Diffa.

Taiqui *et al.,* 2014. Approche et actions pour la résilience au Changement Climatique.

FAO. 2020. Évaluation du projet « Intégrer la résilience climatique à la production agricole et pastorale pour la sécurité alimentaire dans les zones rurales vulnérables à travers l'approche champ-école des producteurs ». Série évaluation de projet, 12/2020. Rome.

BANZOUSSI NIAKA U. N. et SIMEN NANA S. F. (2024) « La résilience des petits exploitants agricoles en République du Congo face aux changements climatiques : une perspective de la théorie sociale cognitive », Revue Internationale des Sciences de Gestion « **Volume 7 : Numéro 1** » pp : 76 – 97.

Alain Bonnassieux, « Introduction : stratégies et dynamiques au Niger face aux contraintes environnementales », Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne], 270 | Avril-Juin 2015, mis en ligne le 01 avril 2015, consulté le 10 décembre 2020. URL : http://journals.openedition.org/com/7380 ; DOI : https:// doi.org/10.4000/com.7380

G. Nkwusi, S. Adeaga, S. Ayejuyo, and A. Annuk, "Climate Change; Farmers' Awareness, Perceptions and Responses in Lagos State." Applied Ecology and Environmental Sciences, **vol. 3, no. 4** (2015): 95-99. doi: 10.12691/aees-3-4-1.

Boko M., Niang I., Nyong A., Vogel C., Githeko A., Medany M., Osman-Elasha B., Tabo R., Yanda P., 2007, "Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", in Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J. and Hanson C.E. (eds.), Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press., Cambridge UK. 433 – 467.

Agossou D.S.M., Tossou C.R., Vissoh V.P., Agbossou K.E., 2012, "Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et Stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois", African Crop Science Journal, 20, 565 -588.

Ulrich C.S. Y. Allé, Pierre V. Vissoh, Hervé Guibert, Euloge K. Agbossou et Abel A. Afouda, 2014. « Relation entre perceptions paysannes de la variabilité climatique et observations climatiques au Sud-Bénin », Vertig O - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], **Volume 13 Numéro 3** | décembre 2013, mis en ligne le 31 janvier 2014, consulté le 19 février 2014. URL : http://vertigo.revues.org/14361 ; DOI : 10.4000/vertigo.14361

Ulrich C.S. Y. Allé, Pierre V. Vissoh, Hervé Guibert, Euloge K. Agbossou et Abel A. Afouda, 2013. Changements Climatiques, Perceptions et Adaptations des Producteurs sur le Plateau d'Allada au sud du Bénin. European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X / 1450-202X. Vol. 107 No 4 July, 2013, pp.530-545. http://www.europeanjournalofscientificresearch.com

Gyimah, A.B.K., Bagbohouna, M., dit Mahamadou Sanogo, N. and Gibba, A. (2020) Climate Change Adaptation among Smallholder Farmers: Evidence from Ghana. Atmospheric and Climate Sciences, 10, 614-638. https://doi.org/10.4236/acs.2020.10403

Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit and K. Takahashi, 2007. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717-743.

LES PRODUCTEURS DE COTON FACE AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA SOUS-PRÉFECTURE DE NIÉLLÉ AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE

Simplice Yao KOFFI[1],

1 Université Peleforo GON COULIBALY (Korhogo, Côte d'Ivoire) et Chaire UNESCO Anticipation, Prospective et Territoires Durables de l'Université Alassane OUATTARA (Bouaké, Côte d'Ivoire), BP 1328 Korhogo, kofsiyao@yahoo.fr

Résumé : *Cette étude analyse l'adaptation des producteurs de coton de Niellé (Nord de la Côte d'Ivoire) face aux effets du changement climatique. Elle repose sur une recherche documentaire et des enquêtes de terrain menées auprès de quarante producteurs répartis dans quatre villages. Les résultats montrent que les principales manifestations du changement climatique sont la baisse et l'irrégularité des pluies, la dégradation des sols et l'intensification des attaques parasitaires. Ces facteurs perturbent le calendrier agricole, réduisent les rendements et affectent la qualité du coton. Les producteurs, vulnérables du fait de leur dépendance à l'agriculture pluviale, adaptent leurs pratiques en modifiant les dates de semis, en introduisant des cultures moins exigeantes en eau comme le sésame, en exploitant les bas-fonds et en diversifiant leurs activités. L'étude préconise une gouvernance climatique inclusive associant productrice, sociétés cotonnières et institutions étatiques.*

Mots-clés : *Niellé-Côte d'Ivoire, Effets majeurs du changement climatique, Adaptation au changement climatique, Gouvernance climatique inclusive*

Abstract: Cotton growers faced with the effects of climate change in the nielle sub-prefecture, northern Cote D'ivoire *This study examines how cotton farmers in Niellé, a sub-prefecture in northern Côte d'Ivoire, adapt to the adverse effects of climate change. It is based on desk research and field data collection involving forty cotton producers across four villages. The findings reveal that the main impacts of climate change in the area are reduced and irregular rainfall, soil degradation due to erosion, and increased pest attacks on crops. These changes disrupt the agricultural calendar, lower yields, and affect cottonseed quality. Due to their heavy reliance on rain-fed agriculture, farmers are particularly vulnerable to these effects. In response, they have adjusted sowing dates, introduced less water-demanding crops such as sesame, cultivated lowland areas, and turned to non-agricultural activities. The study recommends inclusive climate governance that involves cotton producers, cotton companies, and state institutions.*

Key words: *Niellé-Côte d'Ivoire, Major effects of climate change, Adaptation to climate change, Inclusive climate governance*

Introduction

En Afrique de l'Ouest, et particulièrement en Côte d'Ivoire, le changement climatique affecte gravement la productivité agricole. Ses principales manifestations incluent des retards dans le démarrage des pluies, une réduction de leur durée et du nombre de jours pluvieux. Les producteurs perçoivent ces changements à travers les variations des précipitations, des températures, des vents et la disparition d'espèces végétales et animales (Takpa et al., 2022).

Face à ces défis, les agriculteurs développent diverses stratégies d'adaptation. Comme l'ont montré Takpa *et al.* (2022) au Nord du Bénin, celles-ci incluent la diversification des cultures, l'ajustement des dates de semis, l'adoption de nouvelles variétés, ou encore le recours à des pratiques métaphysiques (prières, rituels). Cependant, comme le soulignent Soumaré et al. (2020), les projections du GIEC prévoient une aggravation des perturbations climatiques, avec des impacts négatifs sur les rendements agricoles et une augmentation des ravageurs.

Cette étude se focalise sur l'adaptation des producteurs de coton à Niellé (Nord de la Côte d'Ivoire) face à ces défis. Elle vise à : identifier les effets majeurs du changement climatique dans cette zone, évaluer la vulnérabilité des cotonculteurs et analyser leurs stratégies d'adaptation

1. Méthodologie

1.1. Présentation de la zone d'étude

La sous-préfecture de Niellé est située dans le département de Ouangolodougou (RGPH, 2014, p. 17). Créée par le décret N° 69-558 du 22 Décembre 1969, la sous-préfecture de Niellé a été ouverte officiellement le 13 Avril 1974. Cette sous-préfecture est limitée au Nord par la sous-préfecture de Toumoukoro, à l'Ouest et au Sud par la sous-préfecture de Diawala (figure 1).

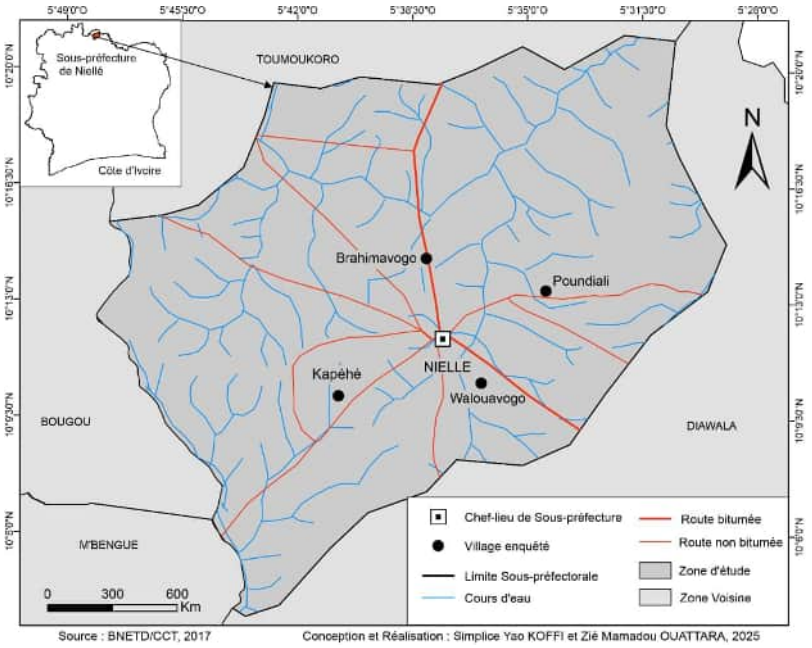


Figure 1. Présentation de la zone d'étude

Le département de M'Bengué est localisé à l'Ouest de la sous-préfecture de Niellé qui couvre une superficie de 8000 Km². La population estimée à 48 524 habitants est composée d'une majorité d'autochtones Sénoufo et d'une minorité de Malinké (RGPH, 2021, p. 28). A l'instar des zones Nord de la Côte d'Ivoire, les populations de la sous-préfecture de Niellé pratiquent exclusivement l'agriculture vivrière (riz, maïs) et cultivent le coton comme spéculation d'exportation (MEMPD, 2015, p. 73). La figure 1 met en évidence les principaux éléments pour situer la sous-préfecture de Niellé dans le Nord de la Côte d'Ivoire.

1.2. Recherche documentaire

La recherche documentaire a examiné diverses études concernant les impacts du changement climatique en Afrique subsaharienne et particulièrement dans le Nord de la Côte d'Ivoire. Cette revue a mobilisé des rapports techniques ministériels, des articles scientifiques et des mémoires universitaires.

Les données recueillies ont éclairé trois aspects principaux : les effets concrets du changement climatique, la vulnérabilité des producteurs de coton face à ces changements, les stratégies d'adaptation développées par les agriculteurs. Ces éléments ont servi de cadre de référence pour l'analyse et l'interprétation des résultats de l'étude..

1.3. Collecte de données sur le terrain

L'enquête s'est déroulée au premier semestre 2025 en un passage unique, combinant approches qualitative et quantitative. Pour les données qualitatives, des entretiens ont été menés avec des chefs traditionnels et responsables de coopératives à l'aide de guides standardisés.

Concernant les données quantitatives, un échantillon probabiliste de 40 producteurs de coton a été sélectionné dans 4 villages de Niellé (Walouavogo, Poundiali, Brahimavogo, Kapehé) en utilisant un générateur aléatoire. La répartition détaillée figure dans le tableau 1.

Tableau 1. Villages et nombre de producteurs sélectionnés dans la sous-préfecture de Niellé

Village	Nombre de producteur de coton
Walouavogo	9
Poundiali	11
Brahimavogo	5
Kapehé	15
Total	**40**

Source : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

La collecte des données de terrain s'est faite en se basant sur le logiciel KoboCollect et le traitement ainsi que l'analyse des données ont été faits de façon informatique en utilisant les logiciels Excel et Sphinx Millenium 14.5. Les résultats obtenus se déclinent en trois points essentiels : (i) les effets majeurs du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé ; (ii) la vulnérabilité des producteurs de coton face aux effets majeurs du changement climatique ; (iii) les stratégies d'adaptation des producteurs de coton au changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé.

2. Résultats

2.1. Effets majeurs du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Les effets majeurs du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé sont la réduction des pluies, l'irrégularité des pluies, le changement du calendrier agricole, la dégradation des sols due à l'érosion et l'accroissement des attaques parasitaires sur les cultures (tableau 2).

Tableau 2. Effets du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Effets du changement climatique	Effectif	Pourcentage (%)
Réduction des pluies	40	100
Irrégularité des pluies	40	100
Changement du calendrier agricole	37	92,5
Augmentation des températures	3	7,5
Dégradation des sols due à l'érosion	39	97,5
Insécurité alimentaire	1	2,5
Accroissement des attaques parasitaires sur les cultures	40	100

Source : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

Les autres effets notamment l'insécurité alimentaire (2,5%) et l'augmentation des températures (7,8%) sont faiblement accusés par les producteurs de coton retenus pour l'enquête. Qu'ils soient majeurs ou mineurs, les effets du changement climatique rendent vulnérables les producteurs de coton dans leur espace de production.

2.2. Vulnérabilité des producteurs de coton face aux effets du changement climatique la sous-préfecture de Niellé

Les producteurs de coton ressentent plus les effets du changement climatique au début des saisons pluvieuses. En effet, la quasi-totalité des producteurs de coton ont avancé qu'il y a une modification de la date des saisons pluvieuses. Ce constat les rend vulnérables en participant au changement des dates de semis de la culture du coton ainsi que des cultures assolées, à la réduction des rendements agricoles sans omettre la mauvaise qualité du coton-graine (figure 2).

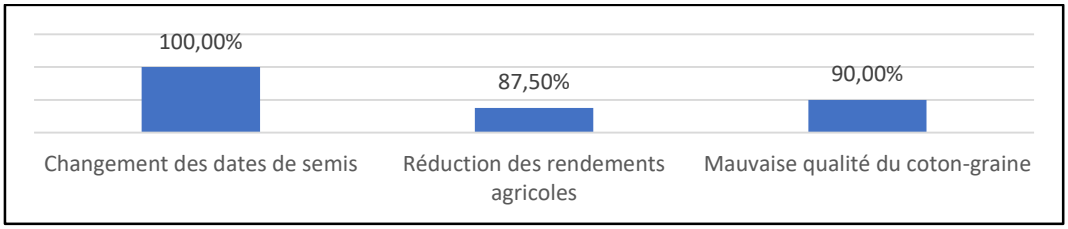


Figure 2. Manifestation de la vulnérabilité des producteurs de coton au changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Source : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

Dans la sous-préfecture de Niellé, tous les producteurs de coton avancent que leur vulnérabilité au changement climatique se manifeste par le changement des dates de semis. La réduction des rendements agricoles (87,50 %) et la mauvaise qualité du coton-graine (90,00 %) constituent, également, un volet important de la manifestation de la vulnérabilité des producteurs de coton au changement climatique. Pour faire face aux effets du changement climatique qui les rend vulnérables, les producteurs de coton ont développé plusieurs stratégies d'adaptation.

2.3. Stratégies d'adaptation des producteurs de coton au changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Les stratégies d'adaptation des producteurs de coton au changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé sont multiples notamment l'adoption de nouvelles cultures moins exigeantes en eau comme le sésame, la colonisation des bas-fonds, l'adoption des activités non agricoles et l'abandon totale de l'agriculture (tableau 3).

Tableau 3. Stratégies d'adaptation des producteurs de coton au changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Stratégie d'adaptation au changement climatique	Effectif	Pourcentage (%)
Adoption de nouvelles cultures moins exigeantes en eau	39	97,5
Colonisation des bas-fonds	27	67,5
Adoption des activités non agricoles	38	95,0
Abandon totale de l'agriculture	1	2,5
Adoption de cultures vivrières alternatives	28	70,0

Source : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

L'adoption de cultures vivrières alternatives pour atténuer les effets pervers du changement climatique constitue une autre stratégie des producteurs de coton. Ces cultures vivrières alternatives sont le soja, le maïs, le riz, l'arachide et le haricot (tableau 4).

Tableau 4. Cultures vivrières alternatives pour atténuer les effets du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Culture vivrière alternative		Effectif	Pourcentage (%)
Nom connu localement	Nom scientifique		
Soja	*Glycine max*	17	26,6
Maïs	*Zea mays*	12	18,8
Mil	*Pennisetum glaucum*	11	17,2
Riz	*Oryza sativa*	7	10,9
Arachide	*Arachis hypogaea*	5	7,8
Haricot	*Phaseolus vulgaris*	3	4,7

Source : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

Parmi les stratégies des producteurs de coton pour faire face aux effets du changement climatique, figure les formations faites par les sociétés cotonnières, les Organisations Non Gouvernementales (ONG), l'État et les coopératives (figure 3).

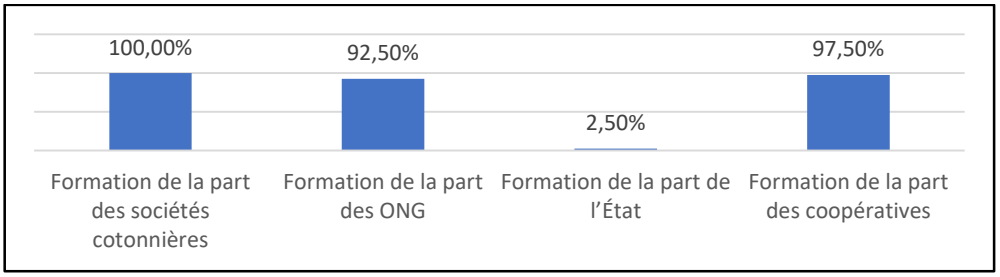


Figure 3. Structures formant les producteurs de coton pour réduire les effets du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Source : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

En plus des formations reçues essentiellement des sociétés cotonnières, les producteurs de coton développement d'autres stratégies qu'ils considèrent plus efficaces pour s'adapter au changement climatique. Il s'agit de l'adoption de semences améliorées, la diversification agricole, l'adaptation au nouveau calendrier agricole et l'adaptation aux effets du changement climatique (figure 4).

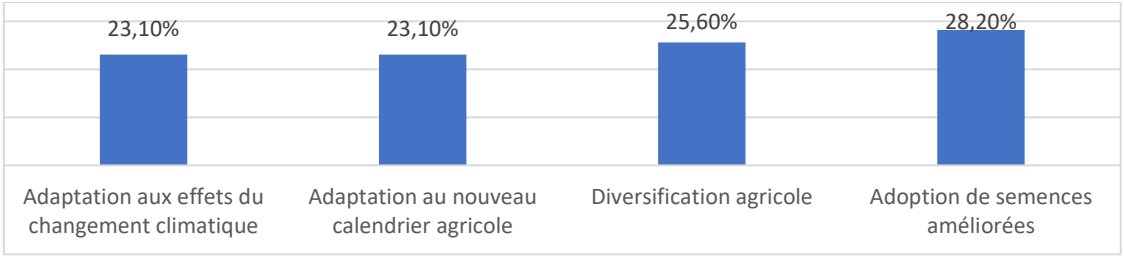


Figure 4. Stratégies efficaces d'adaptation des producteurs de coton au changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé

Source : : Résultat des enquêtes de terrain, Mars 2025

Dans l'ensemble, environ un quart des producteurs de coton a reconnu sa propension pour l'adaptation aux effets du changement climatique dans la sous-préfecture de Niellé.

3. Discussion

Cette étude montre que les producteurs de coton de Niellé subissent les effets du changement climatique : réduction et irrégularité des pluies, modification du calendrier agricole, dégradation des sols et augmentation des parasites. Ces perturbations entraînent une baisse des rendements et de la qualité du coton, poussant les agriculteurs à adapter leurs pratiques (nouvelles cultures moins gourmandes en eau, colonisation des bas-fonds, diversification des activités).

Ces résultats concordent avec les travaux de Traoré *et al.* (2021) qui identifient le déficit hydrique, la baisse de fertilité des sols et les bioagresseurs comme principales contraintes du coton en Afrique de l'Ouest. Adaman (2016) a observé des impacts similaires à Napiéléodougou, avec en plus des problèmes sanitaires liés au climat.

Kaboré *et al.* (2019) et Soviadan (2016) confirment ces impacts sur les cultures pluviales, notant au Burkina Faso des modifications pédologiques (sols dénudés), écologiques (réduction des herbacées) et agronomiques (baisse des rendements). Les stratégies d'adaptation incluent l'abandon de cultures comme le coton au profit de céréales à cycle court (mil, sorgho) ou de nouvelles cultures irriguées (melon, pastèque). Adaman (2016) mentionne également des pratiques métaphysiques (rituels pour provoquer la pluie) et des reconversions (charbon de bois).

Conclusion

Le changement climatique affecte profondément l'agriculture en Côte d'Ivoire, particulièrement la culture du coton dans la sous-préfecture de Niellé. Les effets observés incluent la diminution et l'irrégularité des pluies compromettant la sécurité alimentaire, la dégradation de la qualité du coton et l'augmentation des attaques parasitaires.

Pour y faire face, les producteurs ont développé des stratégies d'adaptation telles que l'adoption de cultures moins exigeantes en eau, l'exploitation des bas-fonds et la diversification vers des activités non agricoles. Ces adaptations contribuent à la transformation des systèmes de production locaux.

Face à l'ampleur des défis climatiques, cette étude souligne la nécessité d'une gouvernance climatique inclusive associant producteurs, sociétés cotonnières, coopératives agricoles, ONG et institutions étatiques. Une telle approche collaborative apparaît essentielle pour soutenir durablement les agriculteurs face aux perturbations climatiques croissantes.

Remerciements : Tout d'abord, je tiens à remercier les responsables des sociétés cotonnières qui ont facilité mon immersion dans le monde des producteurs de coton depuis mes études doctorales. Ensuite, je remercie les conseillers agricoles qui, par leur disponibilité, m'ont permis de collecter sans difficulté des données auprès des producteurs de coton qu'ils encadrent. Enfin, je remercie mes étudiants en master et en doctorat qui m'ont appuyé dans la collecte des données.

Bibliographie

Adaman S., 2016. « Résilience des producteurs de coton face aux changements climatiques dans le nord de la Côte d'Ivoire : cas des producteurs de Napiéléodougou », *Revue Africaine d'Anthropologie, Nyansa-Pô, N°21*- 2016, pp. 122-140

Kabore P. N. Barbier B., Ouoba P., Kiema A., Some L. et Ouedraogo A., 2019. « Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso », VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement [Online], 19-1 | Mars 2019, mis en ligne le 05 mars 2019, consulté le 27 mars 2025. URL: http://journals.openedition.org/vertigo/24637; DOI: https://doi.org/10.4000/vertigo.24637

Soumaré M., Havard M. et Bachelier B., 2020. « Le coton en Afrique de l'Ouest et du Centre : de la révolution agricole à la transition agro-écologique », *Cah. Agric. 29*: 37.

Ministère d'Etat, Ministère du Plan et du Développement (MEMPD), 2015. Etudes monographiques et économiques des Districts de Côte d'Ivoire : District des Savanes, Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) / Développement Régional (DGATDR), Abidjan, 314 p.

Soviadan M. K., 2016. Impact du changement climatique sur la production du coton- graine : cas de la Région des Savanes, Nord-Togo, Mémoire de Master en Agroéconomie- Option : Gestion des Ressources Naturelles et de l'Environnement (GRNE), Université de Lomé, 128 p.

Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), 2014. Répertoire des localités : Région du Tchologo, Institut National de la Statistique (INS), Abidjan, 28 p.

Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH), 2021. Résultats globaux, Institut National de la Statistique (INS), Abidjan, 37 p.

Takpa G. M. M., O'N.. Tovihoudji G. P., Ollabode N., Akponikpe P. B. I. et Yabi J. A., 2022. « Perception des producteurs des changements climatiques et stratégies d'adaptation dans les systèmes de culture à base de maïs (*Zea mays*) au Nord-Bénin », Ann. UP, Série *Sci. Nat. Agron. Juin 2022, Vol. 12 (No.1)* : 1-14

Traoré A. Diouf L. R. et Ndiaye S., 2021. « Contraintes et perspectives de la culture du coton en Afrique de l'Ouest dans un contexte de changement climatique : cas du Sénégal Synthèse bibliographique », Journal of Applied Biosciences Journal of Applied Biosciences, mis en ligne en novembre 2021, consulté le 27 mars 2025, DOI: 10.35759/JABs.166.2

VULNERABILITES DES PETITES EXPLOITATIONS AUX RISQUES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE OUIDAH AU BENIN

Dègla Hervé KOUMASSI[1], Jean SODJI[2]

Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE, E-mail: kharidad1@gmail.com
Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA)
Institut du Cadre de Vie (ICaV),
Université d'Abomey Calavi, B.P 526, Cotonou République du Bénin,

Résumé : *Cette étude vise à analyser la vulnérabilité des exploitations face aux risques agricoles et les stratégies d'adaptation mises en place. Pour y parvenir, une enquête de terrain a été menée auprès de 180 ménages agricoles, sélectionnés selon la méthode de Schwartz (1995) puis analysées à l'aide de traitements statistiques et du modèle SWOT. Les risques climatiques et agricoles sont dominants (75 %), surtout les inondations et les poches pluviométriques, auxquels s'ajoutent des contraintes d'accès aux intrants et équipements. Les exploitations présentent donc une vulnérabilité élevée sur les plans économique, organisationnel et écologique. Les stratégies actuelles demeurent limitées face aux défis climatiques*

Mots clés : *Commune de Ouidah, exploitation agricole, Risque, Vulnérabilité*

Abstract **: Vulnerabilities of small farms to agricultural risks in the commune of ouidah in benin.** *This study aims to analyze the vulnerability of farms to agricultural risks and the adaptation strategies implemented. To achieve this, a field survey was conducted among 180 agricultural households, selected using Schwartz's method (1995), and then analyzed using statistical treatments and the SWOT model. Climatic and agricultural risks are dominant (75%), especially flooding and rainfall pockets, alongside constraints on access to inputs and equipment. Therefore, the farms present a high level of vulnerability on economic, organizational, and ecological fronts. Current strategies remain limited in the face of climatic challenges.*

Keywords: Commune of Ouidah, Family farming, Risk, Vulnerability.

Introduction

Dans les pays en développement comme dans les pays développés, l'agriculture familiale représente la principale forme de production alimentaire (Fernand & Zié, 2024, p. 3). Ces exploitations, souvent de petite taille, jouent un rôle central dans la sécurité alimentaire, l'équité sociale et la durabilité environnementale. Toutefois, elles sont aujourd'hui confrontées à de nombreux risques qui affectent leur productivité et leur résilience.

Naturellement exposée aux aléas climatiques (sécheresses, inondations) et sanitaires, la production agricole subit également les effets des fluctuations des marchés. Une caractéristique majeure de cette activité est la forte variabilité des rendements, rendant difficile toute prévision fiable du niveau de production (Cervantes-Godoy et al., 2013, p. 30). Alors que trois milliards de personnes vivent de l'agriculture dans le monde, les perturbations climatiques et biologiques continuent de compromettre la stabilité des systèmes agricoles (Chetaille et al., 2011, p. 1).

Cette recherche vise à analyser les facteurs de vulnérabilité des petites exploitations agricoles dans la commune de Ouidah, au sud du Bénin. Dans cette commune à dominante rurale, l'agriculture emploie plus de 60 % de la population active et contribue à environ 40 % du budget local. Le secteur est largement dominé par de petites exploitations familiales fortement dépendantes des précipitations, les rendant particulièrement exposées aux risques agricoles. La commune de Ouidah, située entre 2°2'15'' de longitude Est et 6°15'30'' de latitude Nord, dans le département de l'Atlantique, couvre une superficie de 364 km² (cf. Figure 1).

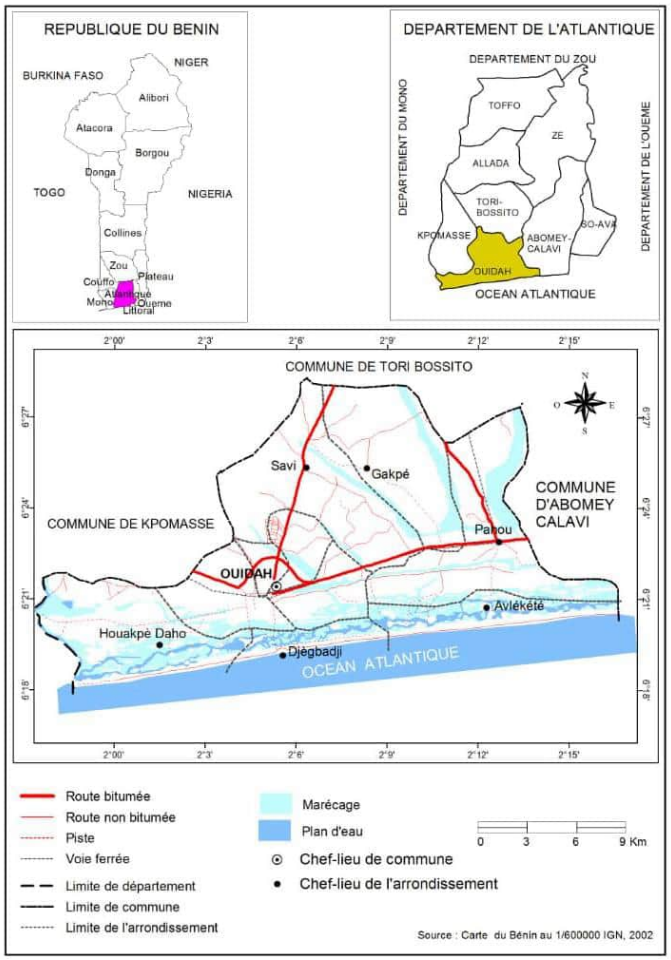


Figure 5. Situation de la commune de Ouidah

2. Approche méthodologique

L'approche méthodologique utilisée comprend trois étapes : collecte des données, traitement et analyse des résultats. Les données proviennent de plusieurs sources : les données climatologiques de la station de Cotonou (1990-2022) obtenues à la Météo Bénin, les statistiques agricoles de la commune de Ouidah obtenues au ministère de l'agriculture, les informations sur les prix des produits agricoles, et les données démographiques issues des recensements généraux de l'INStaD.

Des données primaires ont été collectées sur le terrain auprès de 180 ménages agricoles, sélectionnés par la méthode de Schwartz (1995) et avec un choix raisonné. Ces données portent sur les rendements agricoles, les revenus des ménages, l'accès aux intrants agricoles, et les stratégies d'adaptation aux risques.

Les données ont été analysées à l'aide de statistiques descriptives : moyennes, écarts-types, percentiles, médianes, et coefficients de variation, pour étudier les paramètres climatiques et agricoles. Des tests de régression linéaire ont permis d'identifier les tendances à long terme, tandis que des tests de corrélation ont permis d'analyser les relations entre les risques et les indicateurs agricoles. Le modèle SWOT a ensuite été utilisé pour évaluer les forces, faiblesses, opportunités et menaces face aux risques climatiques et agricoles.

3- Résultats

3.1. Identification des risques agricoles affectant les petites exploitations

Une multitude de risques agricoles affectent les petites exploitations de la commune de Ouidah. Ces risques souvent interconnectés accroissent la vulnérabilité des agriculteurs.

3.1.1. Risques climatiques et environnementaux

Le traitement des données recueillies auprès des ménages montre que les risques climatiques (cf. Figure 2) qui affectent les petits exploitants agricoles sont divers et le degré d'affectation varie en fonction des activités et de la vulnérabilité aux aléas.

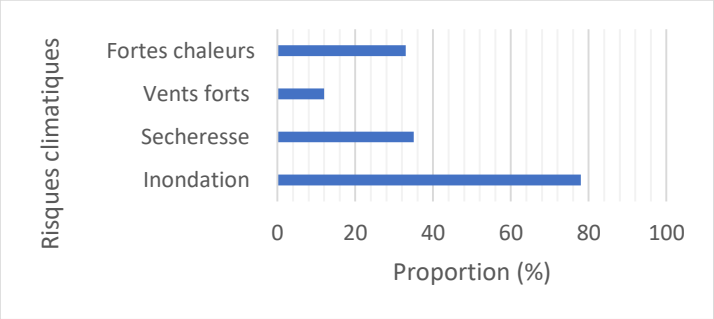


Figure 2. Risques climatiques dans la commune de Ouidah

***Source** : Travaux de terrain, 2024*

Les inondations et la sécheresse saisonnière au niveau local, les vents violents constituent les principaux risques qui impactent les activités les petits exploitants agricoles. A ces principaux risques s'ajoutent les évènements climatiques extrêmes (la hausse du niveau des eaux de surface, les vents violents). En effet une partie de la Commune de Ouidah est située dans une zone basse et comprend des zones humides (Houakpè Daho, Avlekété, Djegbadji, Pahou la partie méridionale des arrondissement 1 et 2), ce qui la rend particulièrement sujette aux inondations. Le coefficient de corrélation calculé (r = -0,71) calculé entre le nombre de jours d'inondation et le rendement des maïs est de -0,71. Il y a donc une forte corrélation négative entre le nombre de jour d'inondation et le rendement de maïs. Une augmentation du nombre de réduit significativement le rendement du maïs. Quant au niébé (r = 0,53), la corrélation est négativement modérée c'est-à-dire que le rendement de niébé est influencé par le nombre de jour de pluie mais le niébé est moins affecté que le maïs dans la zone. A l'inverse les localités situées sur le plateau (Gakpé Savi) sont régulièrement touchées par les poches de sècheresses résultant des perturbations du régime pluviométrique de la zone. En année sèche, le SPI calculé entre 1990 et 2022 est de -0.93. Les rendements pendant ces années chutent de près de 40 % et les exploitants n'ayant pas accès aux semences améliorées et semant tardivement sont les plus exposés.

3.1.2. Risques biologiques

La Commune de Ouidah se caractérise par une agriculture dominée par le manioc, le maïs, le niébé, la tomate, le piment et le palmier à huile. Cependant cette agriculture pluviale est confrontée à d'importants risques biologiques qui menacent la productivité agricole, la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des populations rurales. Selon les enquêtes de terrain, les principaux risques biologiques sont les maladies fongiques telles l'anthracnose du manioc (cf. Photo 1a) et la rouille du maïs (cf. Photo 1b) ; ainsi que les ravageurs des cultures comme la chenille légionnaire (Spodoptera frugiperda), qui s'attaque aux céréales (cf. Photo 1c), et les cochenilles du manioc énumérés par 89 % des enquêtés. A cela s'ajoutent les virus et bactéries tels que le virus de la striure brune du manioc. Ces différents risques biologiques entraînent une réduction considérable des rendements (18 % pour le maïs et 27 % pour le niébé) et des pertes économiques importantes. Les enquêtés indiquent que l'augmentation croissante de la chaleur, propice à la multiplication des insectes, est la principale cause de ces risques. Ces pics des

températures couplé à la déforestation et la monoculture favorisent la prolifération des ravageurs et des pathogènes, augmentant ainsi la vulnérabilité des écosystèmes agricoles.

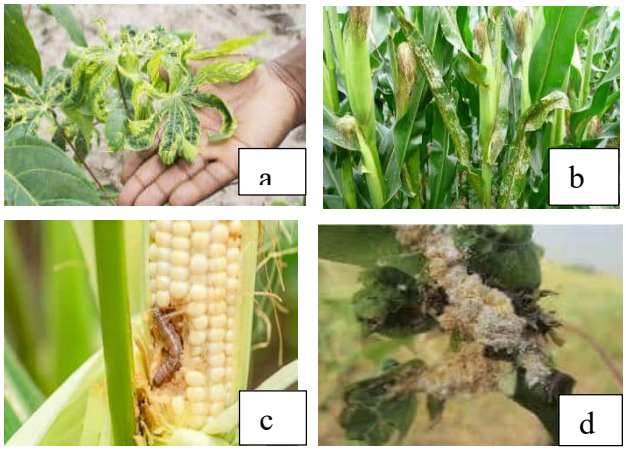


Planche 1. Différentes maladies liées aux risques biologique dans la commune de Ouidah

3.1.3. Risques économiques et de marché

Les petites exploitations agricoles dans la commune de Ouidah sont confrontées à de nombreux risques économiques allant de la fluctuation des prix à l'accès limité aux marchés en passant par la dépendance aux intrants importés. Ces risques mettent en péril la productivité, les revenus et la sécurité alimentaire des petites exploitations agricoles.

La volatilité des prix agricoles dépend fortement de l'offre et de la demande. Ces facteurs sont influencés par les conditions climatiques et les fluctuations du marché mondial. Les événements météorologiques extrêmes, tels que les sécheresses ou les inondations, perturbent (76 % des enquêtés) la production agricole, entraînant des variations imprévisibles des prix. La production agricole fait face à une série de difficultés interconnectés. Les variations de prix des produits alimentaires, qui dépendant de l'offre et de la demande (elles-mêmes sensibles aux aléas climatiques et des fluctuations des marchés mondiaux), crée une instabilité économique, même si l'écart entre le prix des produits agricoles et le prix de la production agricole s'accrut. Le coût élevé et l'instabilité du prix des intrants agricoles réduisent le revenu des agriculteurs et accroît leurs dépenses et donc complique leur planification financière. Par ailleurs, les contraintes d'accès aux marchés locaux et régionaux, résultant de l'insuffisance des infrastructures et de l'obsolescence des moyens de transport et de stockage, limitent le potentiel économique du secteur.

3.2. Facteurs de vulnérabilité aux risques agricoles

3.2.1. Vulnérabilité aux risques climatiques

Les petites exploitations agricoles sont très vulnérables aux risques climatiques. En effet, 98 % des petites exploitations dépendent de l'agriculture pluviale. Cette situation les rend très sensibles aux variations climatiques. La hausse des températures et les déficits pluviométriques perturbent le cycle de développement des cultures selon 72 % des enquêtés. A cela s'ajoutent l'occurrence des phénomènes extrêmes qui se traduisent par la récurrence des poches de sécheresses, les inondations qui entrainent des impactes dévastateurs sur les récoltes. L'infertilité et la dégradation des sols dues à des pratiques agricoles non durables, comme la monoculture et la surutilisation des terres, réduisent la fertilité des sols et augmente la vulnérabilité des petites exploitations aux risques agricoles.

3.2.2. Insuffisance des infrastructures et accès limité aux ressources agricoles

L'insuffisance ou la quasi-absence d'infrastructures de stockage adéquates contraint les petites exploitations agricoles à céder leurs productions à des prix dérisoires. Il est à noter que seulement 15 % des zones de production disposent de magasins de stockage, et que les conditions d'accès à ces installations sont jugées peu favorables par 57 % des personnes interrogées. Cette situation est exacerbée par l'état impraticable de certaines routes de desserte, ce qui accroît la vulnérabilité des exploitations aux pertes post-récolte et limite leur accès aux marchés. En outre, le coût élevé des intrants agricoles, tels que les semences améliorées, les engrais, les pesticides et les équipements modernes, constitue un frein à l'amélioration de la productivité et à la gestion des risques agricoles par 92 % des petits exploitants agricoles.

3.2.3. Accès limite au crédit

La disponibilité et l'accessibilité du crédit représentent une contrainte significative pour le développement du secteur agricole, en particulier pour les petites exploitations. Dans les zones rurales de production, l'absence de structures formelles de crédit est manifeste. Les quelques institutions financières existantes sont concentrées dans les arrondissements urbains, et 86 % des personnes interrogées estiment que les taux d'intérêt pratiqués (4 à 8 % par mois sur 6 mois) sont prohibitifs, ce qui limite leur capacité à investir dans des pratiques agricoles plus résilientes et à se protéger contre les pertes financières résultant des risques agricoles.

4. Discussions

Au Bénin, la variabilité climatique entraîne une baisse des rendements agricoles, la dégradation des sols et la prolifération de ravageurs et de maladies (Gnanglè et al., 2019). Dans le même sens, Sarr (2012) estime que les changements climatiques se caractérisent par une augmentation des températures, une plus grande variabilité des précipitations et une fréquence accrue d'événements extrêmes tels que les sécheresses et les inondations. Adégbidi (2010) souligne la vulnérabilité particulière des petits agriculteurs face à ces risques, en raison de leur faible capacité d'adaptation. De plus, les risques climatiques favorisent l'émergence de risques biologiques. Par exemple, Vissoh et al. (2012) montrent que l'augmentation des températures et de l'humidité favorise la prolifération de ravageurs, comme les chenilles légionnaires, qui dévastent les cultures de maïs, une denrée de base au Bénin. Parallèlement aux risques climatiques et biologiques, les petites exploitations agricoles sont également confrontées à des risques économiques importants. L'accès limité aux marchés et la fluctuation des prix des intrants et des produits agricoles constituent des facteurs de risque économique majeurs, aggravés par le manque d'infrastructures de transport et de stockage. Adegbola et al. (2013) soulignent l'impact significatif des fluctuations des prix agricoles sur les revenus des agriculteurs, tant au niveau local qu'international. De même, Baco et al. (2017) mettent en évidence le rôle de l'accès limité aux marchés dans l'augmentation des risques économiques, en précisant que les petits agriculteurs rencontrent des difficultés d'accès aux marchés de production en raison de l'éloignement géographique, du manque d'infrastructures de transport et de l'absence de circuits de commercialisation efficaces. En conséquence, ces différents facteurs limitent leur capacité à vendre leurs produits à des prix compétitifs et à générer des revenus stables.

Conclusion

Les risques agricoles constituent un enjeu majeur pour les agriculteurs surtout pour les petites exploitations agricoles dont plusieurs facteurs accroissent leurs vulnérabilités. Il est impérieux de mettre en place une approche multirisque ou intégrée prenant en compte les approches innovantes, techniques et financières adaptées aux réalités locales des populations. Ceci permettra de renforcer la résilience des petites exploitations face aux risques agricoles.

Bibliographie

Adégbidi, A. (2010). Adaptation des exploitations agricoles familiales aux changements climatiques au Bénin : Enjeux et perspectives. Cahiers Agricultures, 19(4), 327-333. DOI: 10.1684/agr.2010.0412

Adegbola, P. Y., Singbo, A. G., & Awokuse, T. O. (2013). Market access, agricultural productivity and allocative efficiency in the rural economy of Benin. Agricultural Economics, 44(6), 647-660. DOI: 10.1111/agec.12080

Baco, M. N., Tovignan, S. D., & Gbèdo, F. (2017). Accès aux marchés et performances des exploitations agricoles familiales au Bénin. Revue d'Études en Agriculture et Environnement, 98(2), 167-192. DOI: 10.4074/S1966960717020033

Cervantes-Godoy, D., Kimura, S., & Antón, J. (2013). Gestion des risques dans les petites exploitations agricoles des pays en développement.

Chetaille, A., Duffau, A., Horréard, G., Lagandré, D., Oggeri, B., & Rozenkopf, I. (2011). Gestion des risques agricoles par les petits producteurs : Focus sur l'assurance récolte indicielle et le warrantage (Vol. 113). Agence Française de développement.

Fernand, K. K., & Zié, B. (2024). De l'imaginaire au réel du développement durable : Comment mesurer les progrès accomplis vers l'idéal d'une agriculture familiale africaine durable? International Journal of Innovation and Applied Studies, 44(2), 517-530.

Vissoh, P. V., Tossou, R. C., & Agbossou, E. K. (2012). Perceptions et stratégies d'adaptation des agriculteurs face aux changements climatiques au Bénin. Cahiers Agricultures, 21(2-3), 87-96. DOI: 10.1684/agr.2012.0545

Sarr, B. (2012) Changements climatiques présents et futurs dans la région semi-aride d'Afrique de l'Ouest : un apport crucial pour une adaptation pratique en agriculture. Atmospheric Science Letters, 13, 108-112. https://doi.org/10.1002/asl.368

Gnanglè, P. C., Yabi, J. A., Afouda, A., & Agbossou, E. K. (2019). Analyse de la vulnérabilité des systèmes de production agricole aux changements climatiques dans le nord du Bénin. *Agronomie Africaine*, *31*(1), 67-80.

STRATEGIES D'ADAPTATION DES POPULATIONS DU SUD-EST COTIER IVOIRIEN FACE AUX IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE

Oulai Jean-Gautier KPAN[1], Métangbo DIOMANDÉ[1], Assa FabriceYAPI[1], Yéi Marie-Solange OGA[2] et Jean BIEMI[2]

1Département Géosciences, Université Péléforo GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire, B.P. 1328 Korhogo, kpan_oulai@yahoo.fr , +225 0708187415
2UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix HOUPHOUET BOIGNY de Cocody-Abidjan

Résumé : *La présente étude évalue les impacts socio-économiques et l'adaptation des populations à la variabilité climatique dans la zone côtière de la Côte d'Ivoire. Cette étude s'appuie sur une enquête socio-économique et une analyse diachronique de l'occupation du sol de la région. Les résultats obtenus ont révélé, suivant la perception, que 99% de la population connait le phénomène du changement climatique. Selon 81% des répondants, ledit phénomène est à la base des baisses de production et de rendement des cultures. Pour s'adapter, les populations ont développé des stratégies, dont la conversion des zones marécageuses en rizières révélée par les cartes de 2000 et 2016. Les méthodes d'adaptation résident en la multiplication des semis, l'introduction d`une nouvelle culture améliorée ainsi que d'autres techniques de fertilisation du sol. Seule une minorité de la population a choisi d'abandonner l'agriculture soit pour d'autres activités, soit pour l'immigration ou l'exode rural.*

Mots-Clés *: variabilité climatique, impacts agricoles et socio-économiques, stratégies d'adaptation, Sud-Est côtier ivoirien*

Abstract: Adaptation strategies of populations in the south-eastern coast of Ivory Coast to the socio-economic and environmental impacts of climate variability. *This study assesses the socio-economic impacts and adaptation of populations to climate variability in the coastal zone of Côte d'Ivoire. The study is based on a socio-economic survey and a diachronic analysis of land use in the region. The results revealed that, according to perceptions, 99% of the population is aware of the phenomenon of climate change. According to 81% of respondents, this phenomenon is the cause of declines in production and crop yields. To adapt, populations have developed strategies, including the conversion of marshlands into rice fields, as revealed by maps from 2000 and 2016. Adaptation methods include increasing the number of seedlings, introducing new improved crops, and other soil fertilization techniques. Only a minority of the population has chosen to abandon agriculture, either for other activities, immigration, or rural exodus.*

Keywords*: climate variability, agricultural and socioeconomic impacts, adaptation strategies, southeastern coastal Ivorian region:*

Introduction

L'agriculture est la base de l'économie ivoirienne 22% du PIB. Elle constitue la source de revenus de 2/3 des ménages. Elle procure au pays environ 75% des recettes d'exportation non pétrolières (PND, 2012). Cette agriculture dépend essentiellement de la pluviométrie et des conditions atmosphériques. C'est pourquoi, elle présente une vulnérabilité réelle face au phénomène des changements climatiques.

Le monde scientifique connaît bien le problème des changements climatiques et plusieurs études ont déjà montré les répercussions de ceux-ci sur les conditions actuelles et futures de vie des populations (Diomandé, 2013 ; Soro, 2014 ; Yapi, 2014 ; Kpan, 2017). Cependant, dans le monde rural et particulièrement dans le Sud-Est côtier ivoirien, il n'y a pas encore une vision précise de ce que savent les agriculteurs sur le phénomène et ce qu'ils subissent comme désagrément. La présente étude permettra non seulement de mettre en évidence les effets néfastes du dérèglement climatique sur les activités des populations de ladite région et les méthodes d'adaptation que celles-ci ont développées pour faire face à ce phénomène.

1. Généralités sur la zone d'étude

La zone d'étude est située dans le Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire entre les localités de Gonzagueville (Abidjan, commune de Port-Bouët) et Aboisso. Ladite zone couvre une superficie de 5056 km^2 entre les longitudes 3°00 et 4°00 Ouest et les latitudes 5°00 et 5°30 Nord (figure 1)

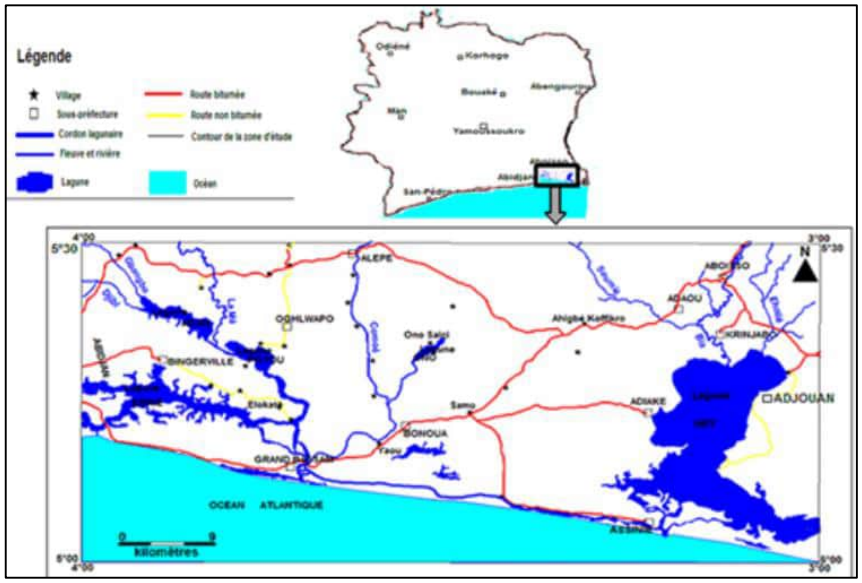


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

Le Sud-Est côtier ivoirien est couvert à 90% par des formations du bassin sédimentaire (au Sud) et à 10% par des formations du socle cristallin (au Nord et au Nord-Est)**.** Cette région bénéficie d'un climat de type attiéen marqué par quatre saisons dont une grande saison des pluies allant d'avril à juillet ; une petite saison sèche allant d'août à septembre ; une petite saison des pluies allant d'octobre à novembre, très irrégulière et une grande saison sèche allant de décembre à mars.La région est beaucoup arrosée avec des lagunes (Ebrié, Aby, Adjin, Potou et Ono) et des cours d'eau (le fleuve Comoé, les rivières Bia, La Mé, Soumié, Gbangbo et Djibi).

2. Matériel et méthodes

Pour cette étude, un questionnaire composé de 70 questions a été utilisé. Un bloc-notes, des crayons, des stylos et des gommes ont été remis à chaque enquêteur afin de relever les informations complémentaires apportées par les répondants. Un appareil photo et un véhicule ont servi à prendre des photos et à faciliter les déplacements des superviseurs. Dix (10) enquêteurs et trois (3) superviseurs ont été mobilisés pour cette enquête socio-économique.

Des images satellitaires TM+ (1986) et ETM+ (2000) ont également été utilisées pour établir les cartes d'occupation de sol. Le traitement des images s'est appuyé sur la méthode de maximum de vraisemblance avec le logiciel ENVI. La précision et le coefficient de Kappa ont permis de valider statistiquement la classification supervisée. Concernant l'enquête, la méthodologie a consisté à administrer le questionnaire à 280 personnes d'âge minimum de 30 ans dans les localités d'Ahigbé-Koffikro et Samo sur l'axe routier Bonoua-Aboisso. Les questions abordées ont été réparties en quatre (4) rubriques à savoir : Identification et informations de base ; Connaissance du changement climatique ; Conséquences économiques des changements climatiques ; Moyens d'adaptation au changement climatique.

Le traitement des résultats de l'enquête a été fait avec le logiciel IBM SPSS statistics 20. Quant aux images, elles ont été traitées avec le logiciel ENVI 4.3.

Méthodologie robuste (enquête à 280 répondants, analyse diachronique 1986-2016).

-Données quantitatives claires (taux de changement d'occupation des sols, pourcentages de perception).

-Ancrage territorial précis (zone côtière vulnérable).

3. Résultats

3.1. Perceptions des populations

Les résultats de l'enquête socio-économique indiquent que les âges des répondants sont compris entre 30 et 84 ans avec une moyenne de 49 ans. Plus de 99,6% de ces derniers connaissent le phénomène du changement climatique. En effet, pour les populations, ce phénomène se manifeste depuis plus de 10 ans suivant les différentes perceptions illustrées par la figure 2. Cette figure montre par exemple pour 41,4% des hommes que les pluies sont fortes ces dernières années pendant que 26,8% estiment que ces pluies démarrent tardivement.

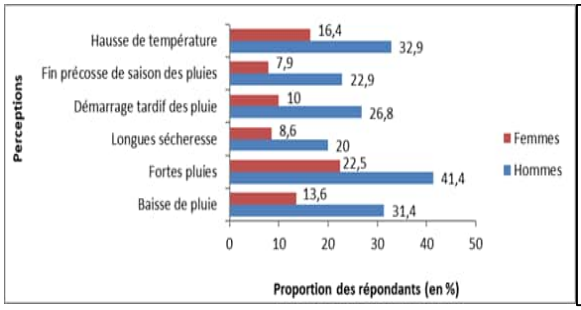


Figure 2. Perception des changements climatiques

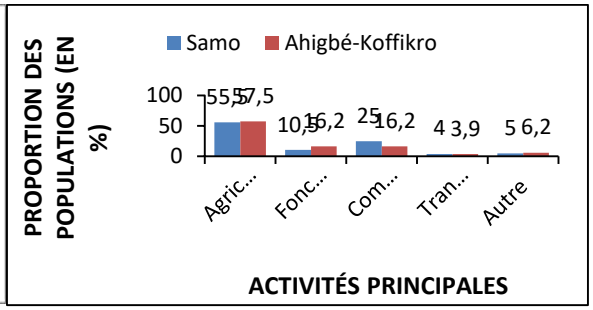


Figure 3. Activités principales dans les localités d'Ahigbé-Koffikro et de Samo

La perception des impacts socio-économiques du dérèglement climatique se fait en fonction des activités pratiquées par les personnes enquêtées. Ainsi, les agriculteurs représentent 57,5 et 55,5% des populations respectivement à Ahigbé-Koffikro et à Samo (figure 3). Les agriculteurs sont suivis à Samo par les commerçants avec 25% tandis que les salariés occupent la troisième place avec 10,5%. À Ahigbé-Koffikro, les salariés et les commerçants représentent la même proportion (16,2%). Quant aux transporteurs, ils viennent en dernière position à Samo (4 %) et à Ahigbé-Koffikro (3,9%).

Les différentes cultures adoptées dans cette région sont illustrées par la **figure 4**. Cette figure montre que l'hévéa et le manioc sont les plus pratiquées. Les sociétés PALMCI et PALMAFRIQUE ont créé de grandes plantations de palmier à huile dans lesquelles travaillent environ 25% des répondants d'Ahigbé-Koffikro. La culture de l'ananas ne vient qu'en quatrième position pourtant cette zone était connue pour sa pratique de l'ananas. Le couple café-cacao y est cultivé aussi. Les autres cultures se résument en banane, maraîcher, cola, riz.

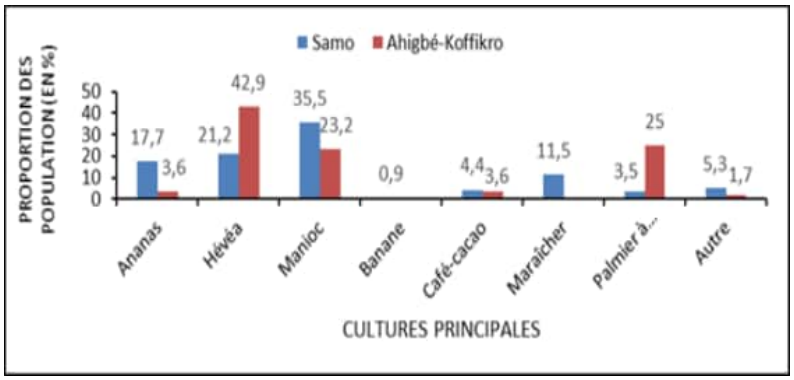


Figure 4. Principales cultures pratiquées par les agriculteurs

Pour 81,4% agriculteurs (dont 51,2% d'hommes et 30,2% de femmes) de la région, l'effet tangible du dérèglement climatique est la baisse de leur production agricole et la mauvaise qualité des produits agricoles. Ces conséquences engendrent la baisse des rendements. Cette vision n'est pas partagée par 7,2% des populations qui soutiennent que ces rendements ont augmenté surtout avec les fortes pluies de l'année 2014. Quant aux fonctionnaires ou agents de l'État et commerçants, ils disent que tout est resté stable. Les différentes réponses sont illustrées par la **figure 5**.

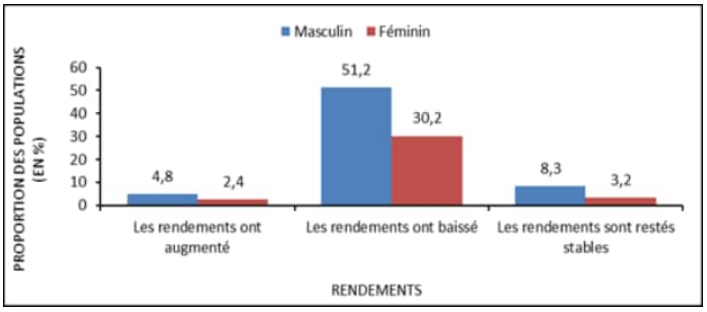


Figure 5. Perception des populations sur le niveau des rendements agricoles

De façon implicite, plus de la majorité des répondants estiment que leur revenu a baissé ces dernières années. C'est en effet 81,4% dont 50,4% d'hommes et 31,1% de femmes qui l'affirment (**figure 6**) contre 18,6% d'avis partagés. Alors que 9,5% disent avoir vu leur revenu augmenté, 9,1% jugent que la tendance des revenus est restés la même.

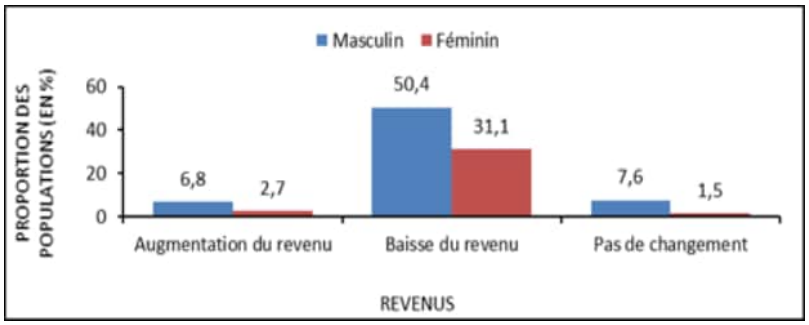


Figure 6. Appréciation de la tendance du revenu avec les changements climatiques

3.2 Impacts environnementaux

L'enquête révèle que les variations pluviométriques et le réchauffement perturbent la biodiversité locale. Plusieurs espèces disparaissent, comme le caféier, le Thaumatococcus daniellei (utilisé pour emballer l'attiéké), ainsi que certains animaux (criquets, pangolins). Parallèlement, de nouvelles espèces apparaissent suite aux modifications écosystémiques.

Les impacts climatiques incluent également l'érosion côtière et la dégradation des pistes rurales. Bien que les précipitations annuelles restent élevées (1600 mm en moyenne), leur répartition irrégulière depuis les années 1980 perturbe les cycles agricoles. Une adaptation appropriée pourrait améliorer les rendements face à ces défis..

3.3 Stratégies agricoles d'adaptation au dérèglement climatique

Les populations adaptent leurs activités face au changement climatique. Environ 32 % ont changé de secteur, notamment vers l'aviculture avec plus de 50 fermes recensées à Bingerville. Certains planteurs se reconvertissent dans le transport, soutenus par des mutuelles locales comme celle de Bonoua proposant un véhicule après trois ans d'engagement.

Les pratiques agricoles évoluent significativement. Des cultures comme la noix de coco, le maïs, la patate et la banane ont quasiment disparu, leurs parcelles étant souvent converties en

habitations. L'ananas, autrefois cultivé par 30 % des exploitants, ne concerne plus que 5 % d'entre eux. Le café-cacao régresse également.

En parallèle, les agriculteurs se tournent vers des cultures plus résistantes comme l'hévéa et le palmier à huile, ou moins exigeantes en eau comme le manioc. L'arachide et le riz gagnent également en importance dans les systèmes de production locaux.

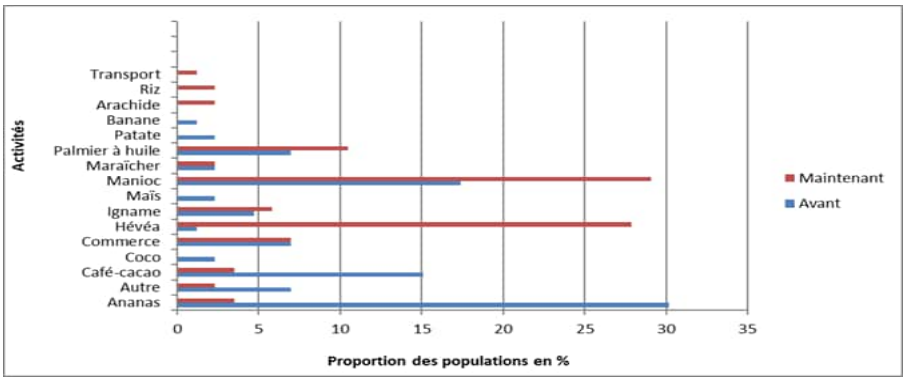


Figure 7. Activités pratiquées avant et maintenant par les populations

L'abandon de certaines cultures au profit d'autres cultures ou d'une autre activité constitue, malgré tout, le dernier recours pour les populations, car elles utilisent auparavant la plupart des méthodes résumées dans le tableau I.

Tableau 1. Autres moyens d'adaptation aux changements climatiques(

	Sexe (%)		Total
	Masculin	Féminin	
Multiplication des semis	1,1	0	1,1
Introduction d`une nouvelle culture	11,5	1,6	13,1
Variétés améliorées	4,4	0,5	4,9
Technique de fertilisation du sol	20,8	9,3	30,1
Reboisement	0,5	0	0,5
Initiation d`activités secondaires	7,1	0	7,1
Rien	22,4	15,8	38,3
Autres	4,4	0,5	4,9

3.4 Étude de la dynamique de l'occupation du sol de 1986 à 2016pour l'évaluation des modifications dans l'environnement

Une analyse diachronique de l'occupation du sol réalisée sur la zone du Sud-est côtier à partir des images de 1986, 2000 et 2016 a été effectuée.

Les modifications spatio-temporelles qui ont eu lieu au cours de ces quinze années, du point de vue quantitative sont traduites de façon par les superficies et les taux d'expansion spatiale annuelle de chaque classe d'occupation du sol comme l'indique le tableau II.

Tableau 2. Évolution des zones d'occupation du sol (en %) de la région Abidjan-Aboisso (1986-2016)

Classes	**1986**	**2000**	**2016**
Habitations	11.09	12.25	18.80
Forêt dense	16.94	14.86	7.56
Zone de culture	38.01	41.02	38.40
Eau	31.11	30.99	30.82
Sols nus	0.16	0.88	4.42
Zone marécage	2.69		
Total	100,00	100,00	100,00

L'analyse du tableau XXXVIII montre que la classe habitations a augmenté de 7,71% passant ainsi de 11,09% en 1986 à 12,25% en 2000 et à 18,80% en 2016. Les forêts denses

enregistrent une baisse d'occupation de 9,38% passant ainsi de 16,94% en 1986 à 7,56% en 2016. Les zones de culture se sont accrues entre 1986 (38,01%) et 2000 (41,02%). Par contre, elles ont régressé en 2016 (38,40%). Cela peut s'expliquer par le fait de l'augmentation des zones de « sols nu » dont la superficie est en hausse en 2016 (4,42%) par rapport à 2000 (0,88). La classe « eau » est passée de 31,11% en 1986 à 30,99% en 2000 et à 30,82% en 2016. Cela correspond à une réduction de 0,29%. Les zones de marécage n'ont pas été observées en 2000 ni en 2016 alors qu'elles occupaient 2,69% de la surface étudiée en 1986

Discussion

Les études menées au Burkina Faso et à Dimbokro, où 76% des paysans constatent des changements pluviométriques (Diomandé, 2013), corroborent les observations des populations d'Abidjan-Aboisso. Comme l'ont montré Balme et al. (2005), les rendements agricoles dépendent étroitement de l'adéquation entre la durée du cycle cultural et la période bioclimatique favorable.

Plusieurs travaux (Al Hamndou et Requier-Desjardins, 2008 ; Dioum, 2010 ; Mbaye, 2011 ; Dugué, 2012) confirment l'adoption de stratégies d'adaptation comme l'usage d'engrais et de variétés à cycle court.

La validité des cartes d'occupation du sol est attestée par des indices de précision élevés (99,35% en 1986, 98,92% en 2000) et des coefficients Kappa significatifs (0,99 et 0,98), dépassant les seuils de 50-75% recommandés par Pontus (2000, cité dans Soro, 2014). La disparition des zones marécageuses en 2000 s'explique par les sécheresses récurrentes entre 1971 et 2000.

Conclusion

Les populations du Sud-Est côtier de la Côte d'Ivoire subissent depuis plus de 10 ans les impacts du dérèglement climatique sur leurs activités notamment celle agricole. Des baisses de rendement et de revenu sont observées.

Pour faire face au phénomène, plusieurs stratégies d'adaptation ont été développées. Elles se résument en la multiplication des semis, l'introduction d`une nouvelle culture ou d'une variété améliorée, l'utilisation de techniques de fertilisation du sol, le reboisement, l'irrigation motorisée et l'initiation d`activités ou de cultures secondaires. Les différentes formes d'occupation du sol constituent également une stratégie d'adaptation.

Bibliographie

Al Hamndou D. et Requier-Desjardins M. (2008) : Variabilité climatique, désertification et biodiversité en Afrique : s'adapter, une approche intégrée, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 8 Numéro 1 http://vertigo.revues.org/5356; DOI : 10.4000/vertigo.5356

Balme M., Galle S., et Lebel T. (2005). Démarrage de la saison des pluies au Sahel: variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger. *Sécheresse* 16 (1), pp 15-22.

Diomande M. (2013). Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production agricoles en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 190 p.

Dioum A. (2010) : Stratégies endogènes d'adaptation aux changements climatiques : recul des cultures sous pluie et extension de l'arboriculture associée dans la communauté rurale de Taïba Ndiaye, mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Aménagement du Territoire Environnement et Gestion Urbaine de Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 94 p.

Dugué M-J. (2012) : Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. Étude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF (www.avsf.org), 50 p.

Mbaye I., Sane T., Dieye E.B. (2011) : Changement climatique, perceptions et stratégies des populations de la ville de Ziguinchor au Sénégal, Actes du colloque Université Paul Verlaine-Metz, France. 9 p.

RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET AMBIANCE BIOTHERMIQUE EN MILIEU RURAL DANS LE DÉPARTEMENT DE LA LÉKOUMOU (RÉPUBLIQUE DU CONGO)

Martin MASSOUANGUI-KIFOUALA

Université Marien Ngouabi, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Laboratoire Géographie, Environnement et, Aménagement (LAGEA). République du Congo. E-mail : mmartinkif@gmail.com

Résumé : *Les agriculteurs sont très exposés aux effets pervers du réchauffement climatique. La présente communication vise à caractériser l'ambiance biothermique qui règne dans le département de la Lékoumou selon trois indices (TX90p, TX10p et THI) calculés à partir des données climatiques recueillies au pas de temps tri-horaire. Les principaux résultats montrent des saisons agricoles (OND et MAM) marquées par une hausse du nombre des jours chauds (TX90p) et une décroissance des jours frais (TX10p). Les fortes chaleurs régent désormais de janvier à mai et d'octobre à décembre de 10h à 16h. L'ambiance biothermique est caractérisée par une sensation d'inconfort qui est passée du « chaud » au « très chaud ». Cet inconfort thermique très marqué pendant les saisons agricoles et les heures de travail peuvent exiger aux agriculteurs une forte énergie musculaire, engendrer une fatigue extrême et un relâchement.*

Mots-clés *: Département de la Lékoumou, réchauffement climatique, inconfort thermique, agriculteurs.*

Abstract: climate warming and the biothermal environment in rural areas of the Lekoumou department (Republic of Congo). *Farmers are highly exposed to the adverse effects of global warming. The aim of this paper is to characterise the biothermal environment in the Lékoumou department according three indices (TX90p, TX10p and THI) calculated on the =basis of climatic data collected at three-hourly intervals. The main results show agricultural seasons (OND and MAM) marked by an increase in the number of hot days (TX90P) and a decrease in the number of cool days (TX10p). Hot days now occur from January to May and from October to December between 10am and 4pm. The biothermal environment is characterised by a feeling of discomfort that has gone from 'hot' to 'very hot'. This very marked thermal discomfort during the agricultural seasons and working hours can demand a great deal of muscular energy from farmers, leading to extreme fatigue and slackness.*

Keywords*: Department of Lékoumou, global warming, thermal discomfort, farmers.*

Introduction

Le département de la Lékoumou, situé au sud-ouest de la République du Congo, est influencé par un climat tropical humide. L'agriculture traditionnelle sur brulis est la principale activité économique pour des nombreux ménages. Le changement climatique, qui se traduit par une hausse des températures, peut provoquer une détérioration de l'ambiance biothermique et impacter le travail en milieu paysan (Medeou et *al.*, 2015). Malheureusement, la revue de la littérature ne nous fournit que des résultats liés à la péjoration des modifications des précipitations sur les activités agricoles (Massouangui-Kifouala, 2017). Ces travaux bien que très intéressants n'ont pas traité la question relative aux impacts de la hausse des températures sur la santé moins encore sur l'activité physique ou le travail en milieu paysan. La présente communication a pour objectif de caractériser l'évolution des températures et d'apprécier l'ambiance biothermique. En effet, les fortes chaleurs peuvent limiter et réduire la durée de travail en milieu paysan. Car elles génèrent de la fatigue, exige de l'énergie musculaire importante. Il est donc important de caractériser l'ambiance bioclimatique qui règne dans le département de la Lékoumou.

1. Données et méthodes

1.1. Localisation et situation géographique

Le département de la Lékoumou s'étend sur une superficie de 20.950 km^2. Il est limité au Nord par la République gabonaise, au Sud par le département de la Bouenza, à l'est par les

départements du Pool, des Plateaux et de la Bouenza et à l'Ouest par le département du Niari (fig. 1).

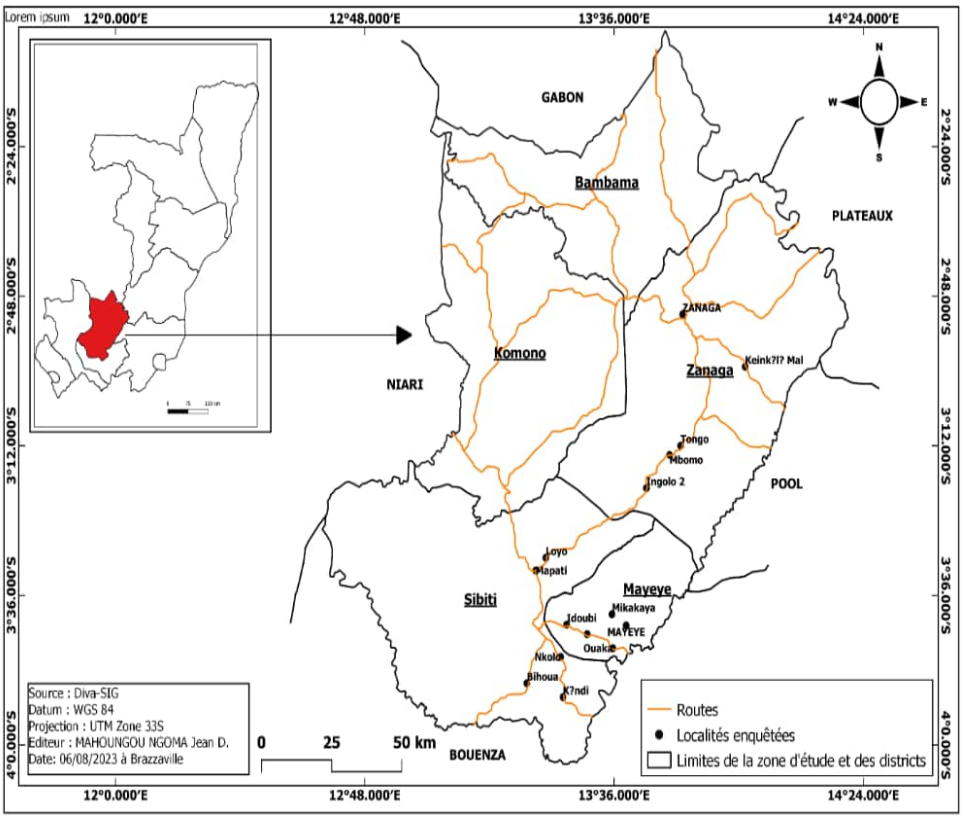


Figure 1. Département de la Lékoumou

1.1. Données

Les données utilisées ont été observées à la station synoptique de Sibiti par les services de la direction de la météorologie nationale. Il s'agit spécifiquement des valeurs des températures maximales et minimales extrêmes. A ces données, il faut ajouter les observations tri-horaires (3h à 21h) des températures moyennes et d'humidité relative sur deux grandes sous-périodes détectées par des travaux antérieurs:

- De 1950 à 1969 : avant le réchauffement ;
- De 1994 à 2023 : pendant le réchauffement.

En effet 1970 est considérée comme l'année marquant le début du réchauffement climatique au Congo (Samba et Nganga, 2014).

1.2-Méthodes

À partir des données collectées, nous avons calculé les indices des températures extrêmes et bioclimatiques

Indices des extrêmes climatiques : afin analyser l'évolution des températures, nous avons calculé, à partir du logiciel RClimDex (Zhang et Yang, 2004), des indicateurs dérivés de cette variable: les indices des températures extrêmes (tableau 1*)*. Il s'agit du nombre de jours relativement frais et de jours relativement chauds calculés à partir de la normale climatique la plus récente :1991-2020.

Tableau 1. Indices des extrêmes des températures journalières

Indices	Noms	Définition	Unités
TX_{90p}	jours relativement chauds	Pourcentage des jours avec Tmax > 90eme percentile	%jours
TX_{10p}	jours relativement frais	Pourcentage des jours avec Tmax > 10eme percentile	%jours

Source : Zhang et Yang (2004)

Indice bioclimatique **:** en fonction des données disponibles seul l'indice Temperature-Humidity Index (THI) (Thom, 1959) a été calculé pour apprécier l'ambiance biothermique à du département de la Lékoumou (tableau 2). Elle combine la température de l'air et l'humidité relative. Les ambiances biothermiques sont définies suivant les critères présentés dans le tableau 2 (J.P. Besancenot, 1990, p.14). Il est calculé à partir la formulation mathématique ci-après :

THI=T- [(0,55-0,0055).U). (T-14,5)]

Où T est la température de l'air en °C et U l'humidité relative en %

Tableau 2. Temperature-Humidity Index (THI). Source : Thom (1959)

Seuil	Ambiance	Seuil	Ambiance
THI ≤ -10	Extrêmement froid	THI ≥ 30	Torride
-1,8 à -9,9	Très froid	29,9 à 26,5	Très chaud
12,9 à -1,7	Froid	26,4 à 20,0	Chaud
14,9 à 13	Frais	19,9 à 15	Confortable

2-Résultats

2.1. Évolution saisonnière des extrêmes des températures

L'analyse des jours chauds et les jours frais est faite pendant les saisons des pluies Mars-Avril-Mai (MAM) et Octobre-Novembre-Décembre (OND) qui correspondent chacune à un cycle agricole (Massouangui-Kifouala, 2017).

Évolution saisonnière des jours chauds : pendant la saison OND : le nombre de jours chauds accuse une tendance à la hausse à Sibiti. L'évolution s'est en deux phases distinctes. De 1950 à 1988, le pourcentage (5,19%) était inférieur à la moyenne (9,9%). De 1989 à 2023, on a enregistré 14,68% des jours chauds, soit une différence de 9,49% entre les deux phases (fig. 2).

La saison MAM présente les mêmes caractéristiques que OND. Le nombre des jours chauds présente une hausse significative à 95% comme seuil de confiance pendant. De 1950 à 1982, il a été évalué à 3,53% le nombre de jours chauds. De 1983 à 2023, on atteint 11,09% des jours chauds, donc supérieur à la moyenne (9,49%) (fig. 3).

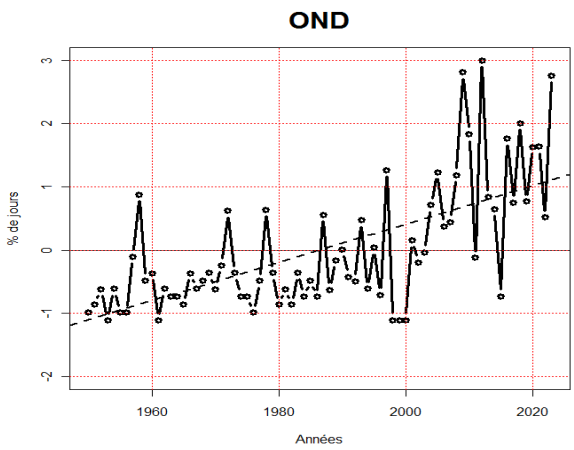


Figure 2. Évolution des jours relativement chauds pendant la saison OND (1950-2023)

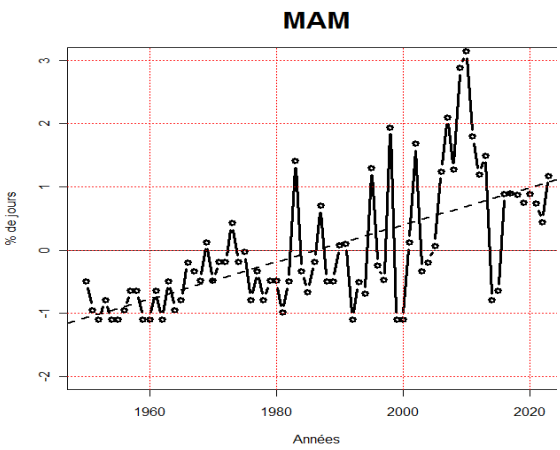


Figure 3. Évolution des jours relativement chauds pendant la saison MAM (1950-2023)

Évolution saisonnière des jours relativement frais : pendant la saison OND, le nombre de jours frais dans département de la Lekoumou ont évolué en deux grandes phases. La première va de 1950 à 1988. Elle a enregistré 16,51% des jours frais, donc un nombre supérieur à la moyenne (12,66%). La deuxième phase commence en 1989 et prend fin en 2023. Elle est marquée par une diminution du nombre de jours frais (8,38%). La différence entre les deux sous-périodes est de 4,28%. La tendance générale des jours frais est à la baisse (fig.4).

Les jours frais ont connu une évolution en deux épisodes distincts (1950-1982 et 1983-2023) pendant la saison MAM. De 1950 à 1983, le pourcentage des jours frais était de 15,54%, donc au-deçà de la normale (11,48 %). On est passé à 8,22% pendant la seconde phase. L'écart entre les deux phases est évalué à 7,32%. Mais dans l'ensemble, on note une décroissance du nombre de jours frais pendant la saison MAM (fig.5).

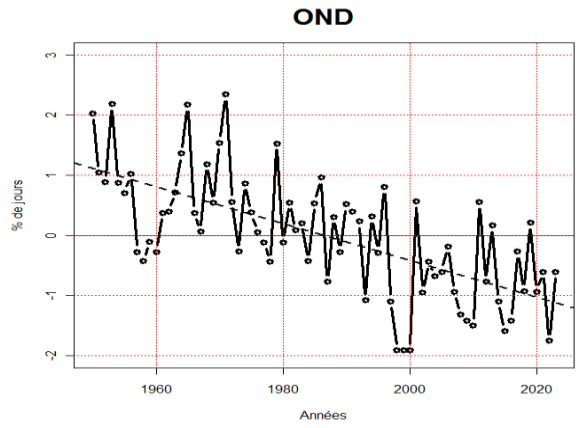


Figure 4. Évolution des jours relativement frais pendant la saison OND (1950-2023)

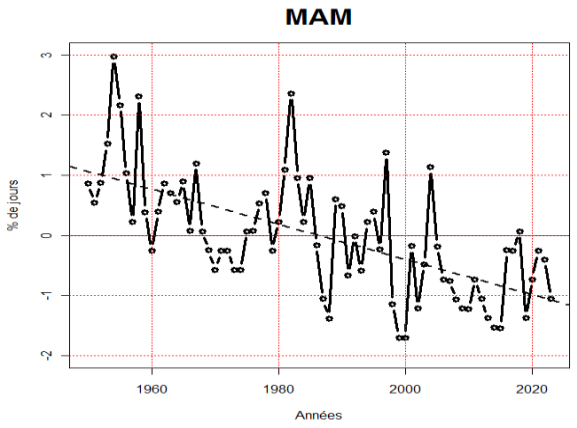


Figure 5. Évolution des jours relativement frais pendant la saison MAM (1950-2023)

2.2. Configuration annuelle des températures

Les figures ci-après (fig.6 et fig.7) présentent la répartition des températures moyennes à la station de Sibiti suivant les différentes sous-périodes (1950-1969 et 1994-2023).

Pendant la première sous-période, les températures moyennes enregistrées à la station de Sibiti étaient comprises entre 17 et 27,7°C (fig.6). Elles sont très inégalement réparties suivant les heures et les mois.

Elles croissent de 3 heures à 15 heures et diminuent de 15h à 21h. Le pic de chaleur est enregistré est de 12 h à 15 h pendant les mois de janvier à mai (27,7°C) et d'octobre à décembre (26°C) qui correspondent aux saisons des pluies. Les plus faibles valeurs sont atteintes de juin à septembre (18°C à 19°C).

La deuxième sous-période (fig.7) est marquée par des fortes valeurs des températures moyennes. Elles varient entre 18 à 29,2°C.

Les records des températures sont enregistrés de 10h à 18h de janvier à mai (26 à 29,7°C) et de septembre à décembre (26 à 27,5°C). La hausse des températures est aussi perceptible en saison sèches (juin à aout). L'isotherme de 19°C est remplacée par celle de 20°C.

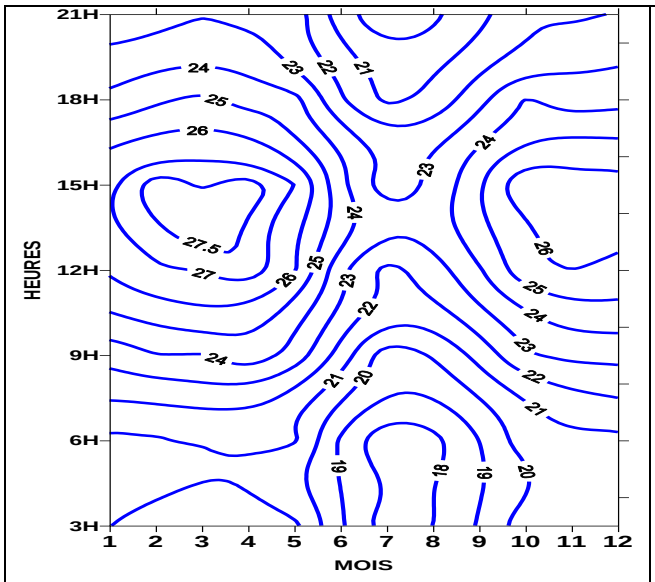


Figure 6. Configuration annuelle des températures de 1950-1969 (en °C)

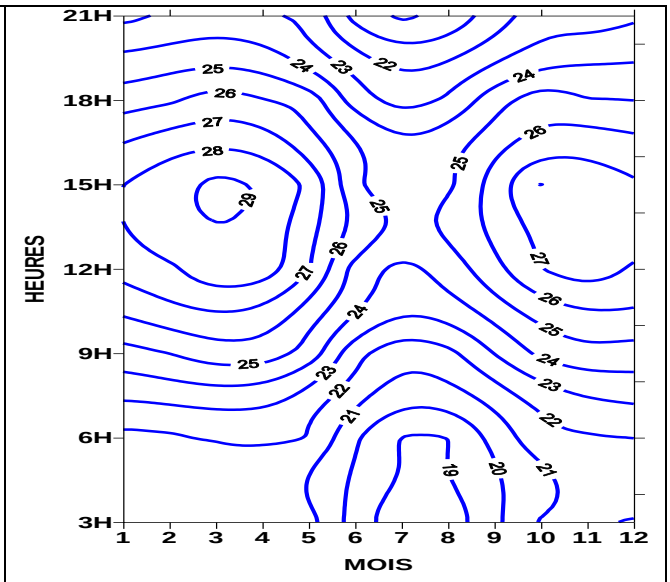


Figure 7. Configuration annuelle des températures de 1994-2023 (en °C)

2.3 Caractérisation de l'ambiance bioclimatique

Les figures 8 et 9 représentent respectivement la répartition annuelle des valeurs de l'indice THI dans le département de la Lékoumou de 1950 à 1969 et de 1994 à 2023.

De 1950 à 1969 (fig.8), les valeurs de l'indice THI traduisent une ambiance confortable et de chaude (17 à 25,5. L'ambiance chaude est ressentie de janvier à mai et d'octobre à décembre de 6h à 18h. Le comble de chaleur est enregistré de 12h à 15h (25,5). L'ambiance confortable règne de juin à pendant les mois de juin à septembre (18-19).

De 1994 à 2023 (fig. 9), les valeurs de THI sont de l'ordre de 18 à 26,8. Elles sont donc plus importantes que celles enregistrées pendant la première sous-période. De janvier à mai et d'octobre l'ambiance est chaude (20 à 26,4) de 3 heures à 12 heures et après 15 heures. Et de 12 heures à 15 heures l'ambiance devient très chaude (26,5). Ces résultats sont similaires aux conclusions des travaux menés sur la localité rurale du district de Mouyondzi par Massouangui-Kifouala *et al.* (2023).

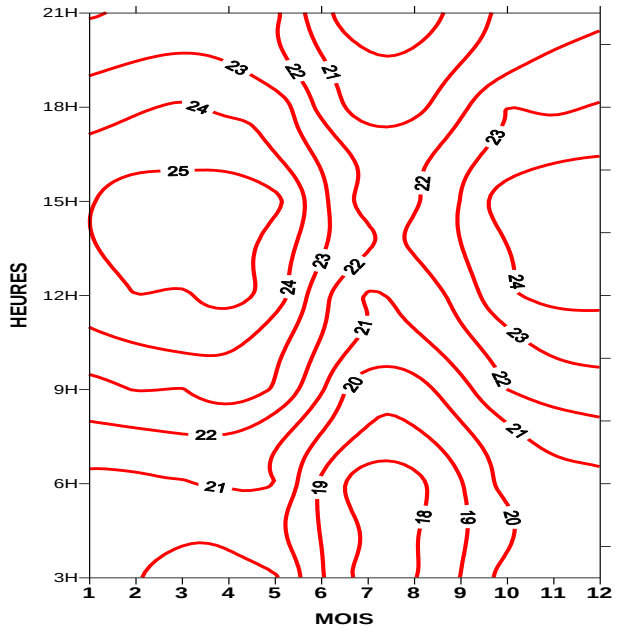


Figure 8. Configuration annuelle de l'indice THI de 1950-1969

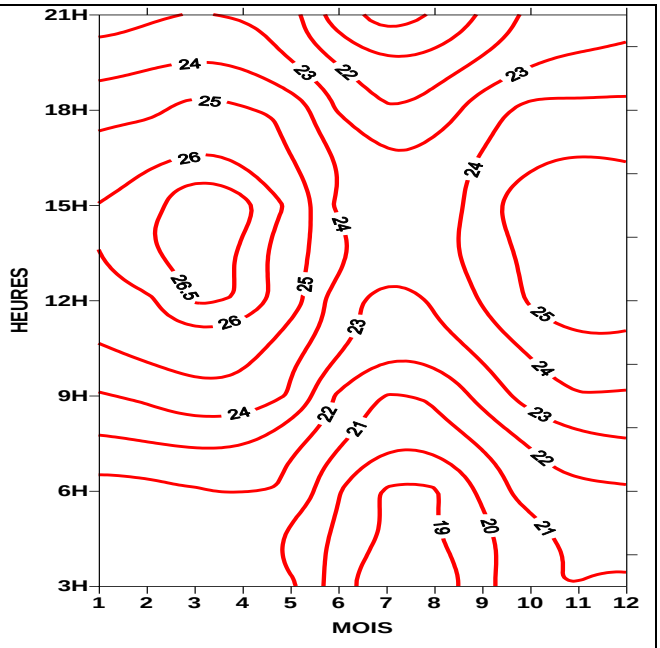


Figure 9.: Configuration annuelle de l'indice THI de 1994-2023

Conclusion

En définitive, il convient noter que les saisons agricoles sont marquées par une augmentation des jours relativement chauds et une décroissance des jours relativement frais. Le réchauffement climatique ainsi constaté altère l'ambiance bioclimatique dans le département de la Lékoumou. Il est marqué par des chaleurs épouvantables pendant les saisons agricoles (Octobre-Novembre-Décembre et Mars-Avril-Mai) de 6h à 18h. Le maximum de chaleur se situe de 12h à 15h. On est passé du « chaud » (1950-1969) au « très chaud » (1994-2023). Les valeurs de THI vont croissante de 03h à 15h et décroissent de 18h à 21h pendant toute l'année. Les paysans du Département de la Lékoumou perçoivent-ils cet inconfort thermique ? Telle est la question qui fera l'objet de perspective de cette étude.

Bibliographie

Medeou K. F., Boko N. P.M., Jendritzky G., Ogouwalé E., Afouda F. et Houssou S.C., 2015: Ambiance bioclimatique et performance des agriculteurs dans le département des Collines au Bénin (Afrique de l'Ouest), XXVIIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, 361-368.

Massouangui-Kifouala M. 2017: caractérisation des saisons pluvio-agricoles dans les Pays du Niari (République du Congo), in Patrice Moundza (dir) Géographie du Congo : mélanges offerts au Professeur Bonaventure Mengho, L'Harmattan, Paris, Etudes africaines, série Géographie, 225-246.

Massouangui-Kifouala M., Milandou Mpoundzou C. M. et Maléké P. S. L., 2023 : Ambiance Bioclimatique et Performance des Paysans dans le District de Mouyondzi (République du Congo), *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT), Vol. 38, No. 1,422-434.*

Samba G., Nganga D., 2014: Minimum and Maximum Temperature Trends in Congo-Brazzaville: 1932-2010, *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 404-430 http://www.scirp.org/journal/acs

Thom, E. C. 1959. The discomfort index. Weatherwise.12:57–59.

Zhang X. et Yang F., 2004: RClimDex (1.0), User Manual, Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario, Canada, 14-18.

IRREGULARITE DES PLUIES SUR LA PRODUCTION DE CACAO (*THEOBROMA* CACAO *LINN.*) DANS LA COMMUNE DE SAKETE AU SUD-EST DU BENIN

Imorou OUOROU BARRE FOUSSENI[1] Osée Sènami Jésugnon AMOUSSOU

[1] Université de Parakou, Bénin ; Laboratoire d'Hydraulique et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab) ; Département de l'Aménagement et de Gestion des Ressources Naturelles (AGRN). E-mail : oubarre@yahoo.fr Tél : 00229 61966474

Résumé : *L'objectif de la recherche est d'étudier l'effet de l'irrégularité des pluies sur la production de cacao (Theobroma cacao linn.) dans la commune de Sakété au Sud-Est du Bénin. Les données pluviométriques issues de Météo Bénin couvrent la période 1990-2019. La démarche méthodologique adoptée se résume au recensement des villages producteurs de cacao suivi de leurs perceptions. Ensuite comparer les hauteurs pluviométriques aux seuils requis pour le cacaoyer. Trente-sept pour cent (37%) des années ont un seuil inférieur à 1200 mm, seuil admis pour la culture du cacao. Cette irrégularité, et baisse des précipitations (1144,5mm) qui était favorable à la culture du cacao a entraîné la baisse voire la disparition de la production. Avec les conditions pluviométriques et pédologiques actuelles, les dispositions doivent être prises pour la maîtrise de l'itinéraire technique de production du cacao.*

Mots clés *: Sakété, Cacao, Variabilité pluviométrique, Seuil*

Abstract: Irregularity of rainfalls on cocoa production (theobroma cacao linn.) in the commune of Sakete in Southeast Benin. *The objective of this research is to study the effect of irregular rainfall on cocoa (Theobroma cacao linn.) production in the commune of Sakété in southeastern Benin. Rainfall data from Météo Bénin cover the period 1990–2019. The methodological approach adopted consists of a census of cocoa-producing villages followed by their perceptions. The rainfall levels are then compared with the thresholds required for cocoa cultivation. Thirty-seven percent (37%) of years have a threshold below 1200 mm, the threshold permitted for cocoa cultivation. This irregularity and decrease in rainfall (1144.5 mm), which was favorable for cocoa cultivation, have led to a decline or even total disappearance of production. With current rainfall and soil conditions, measures must be taken to control the technical itinerary for cocoa production.*

Keywords*: Sakété, Cocoa, Rainfall variability, Threshold*

Introduction

Le cacao (*Theobroma cacao Linn.)* est une culture à production croissante. Sa production annuelle de fèves est estimée à près de 4,4 millions de tonnes pour environ 10 millions d'hectares (FAO, 2019). L'Afrique conserve le monopole de la production, avec plus de 70% de la production mondial. Elle est passée de 1,2 million de tonnes en 1961 à 1,7 million de tonnes en 1980, et 5 millions de tonnes en 2012 (BCEAO, 2014).

Dans l'espace UEMOA il est cultivé au Bénin, en Côte d'Ivoire et au Togo. La Côte d'Ivoire est le premier producteur mondial (environ 1,4 million de tonnes en 2012), représentant plus de 32% de la part de marché (TRADEFARMER, 2013). Au Bénin, bien que la culture du cacao soit présente depuis plus de 95 ans, elle demeure un secteur embryonnaire et est cultivé dans les départements du Zou, l'Ouémé et le Plateau. Selon les données de l'INSAE (2013), environ 0,1% des ménages agricoles de Sakété, ont cultivé le cacao pendant la campagne 2012-2013.

Malgré son potentiel, le cacaoyer est confronté aux déficits pluviométriques et hausse de la température (PETITHUGUENIN, 1998). Ce qui amène à évaluer des changements climatiques sur sa production.

Située au sud-Est du Bénin, la commune de Sakété est limitée au Nord par la Commune d'Adja-Ouèrè, au Sud par celles d'Avrankou et d'Akpro-Missérété, à l'Est par la République Fédérale du Nigéria et la Commune d'Ifangni et à l'Ouest par les Communes d'Adjohoun et de Bonou (GANDONOU, 2006) et couvre une superficie de 432 km² (figure 1).

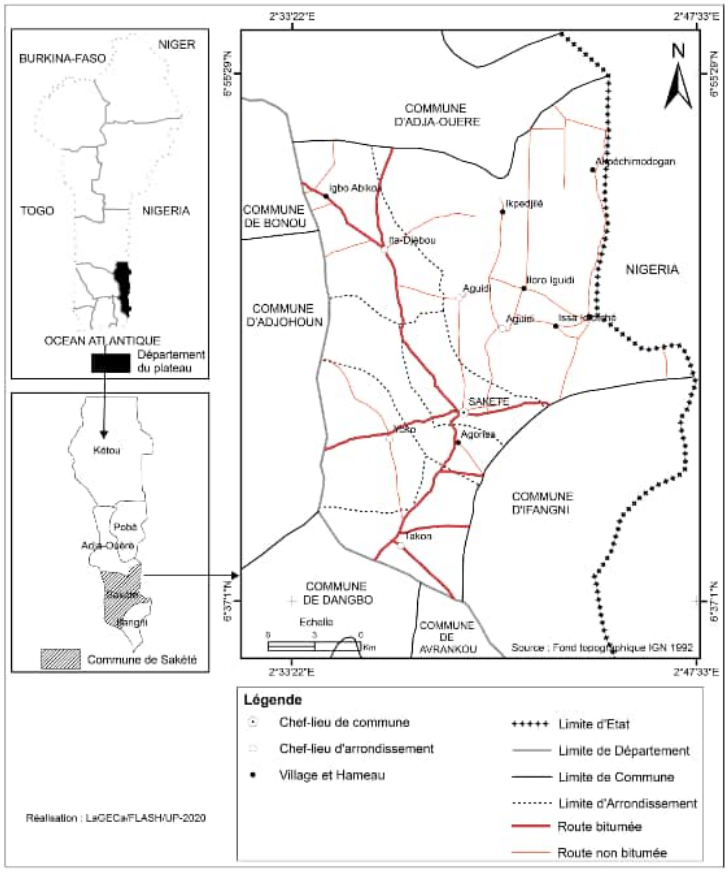


Figure 6. Situation géographique du milieu d'étude

1. Outils et méthodes

1.1 Outils

Le logiciel statistique R version 4.0.1 a servi pour les analyses statistiques, les tests de comparaison, et de régression linéaire. Microsoft Office Excel 2013, a été utilisé pour créer une base de données et effectuer des calculs descriptifs (moyenne arithmétique, la dispersion, l'écart-type etc.).

Les plantations de cacao (*Theobroma cacao*) ont été utilisées pour le matériel biologique.

1.2. Méthodes

Pour évaluer l'impact de l'irrégularité des hauteurs de pluie, les méthodes suivantes ont été utilisées :

Variabilité pluviométrique

La variabilité pluviométrique a été évaluée en calculant l'Anomalie Réduite de Précipitation (ARP).

$$\mathbf{ARP} = \frac{\boldsymbol{x\,i} - \boldsymbol{x}}{\sigma}$$

Avec ; $x\,i$ = hauteur de pluie précipitée au cours de l'année i ; $\bar{x}$ = hauteur annuelle moyennne au cours de la période 1990-2019 ; σ = écart-type des hauteurs pluviométriques annuelles au cours de la période 1990-2019

L'étude d'effets a consisté à effectuer un test de régression linéaire simple : Y= a + b X, où Y est le rendement et X la précipitation.

2. Résultats et discussion

2.1 Localités de production de cacao à Sakété

Le village Ikpédjilé vient en tête du classement avec 43% de la production, suivi respectivement par les villages Mondogan, Kobèdjô, Gâmin, Agagada et Ibarigbo avec 21%, 13%, 11%, 8% et 4%.

Selon "Plan d'action de relance de la filière cacao dans les départements de l'Ouémé et du Plateau, 2014, p.9 », le cacao est produit par 235 producteurs sur une superficie de 383.6 ha. Sakété vient en tête avec 83 producteurs pour une superficie totale de 171.5 ha.

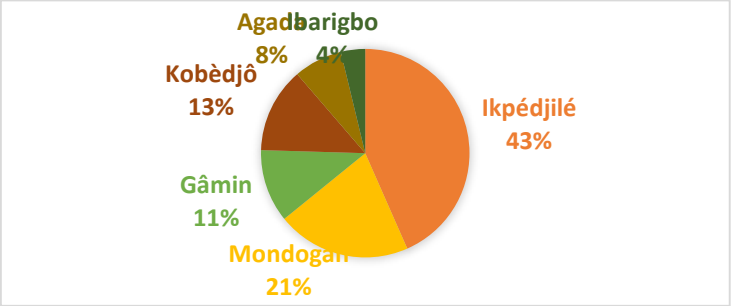


Figure 7. Répartition des villages producteurs de cacao à Sakété

2.2 Perception de l'irrégularité des pluies

Pour les enquêtés, cette irrégularité se manifeste par un retard des pluies (100%) et une manifestation des pluies brèves (26.1%) voir figure 3.

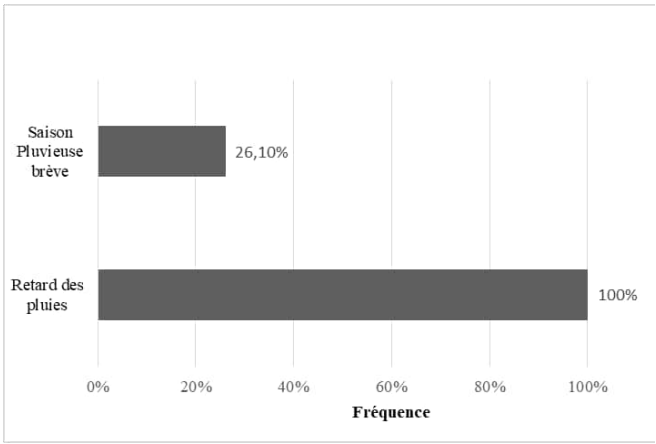


Figure 8. Perception des producteurs sur la manifestation de l'irrégularité des pluies

A part l'irrégularité des pluies, 91.30% des producteurs ont évoqués une absence de récolte intermédiaire alors que 82.60% évoquent que les cabosses sont de petites tailles (figure 4).

Ces résultats vont dans le même sens que ceux de OGOUWALE et BOKO (2006) et de AKPONIKPE (2010) sur les perceptions des paysans, qui révèlent que les changements climatiques se manifestent à travers le démarrage tardif et/ ou une mauvaise répartition des pluies. SERVAT et *al.* (1995) et BROU (1998), ont montré également que la baisse des précipitations s'est amorcée, dans les pays du Golfe de Guinée, dès la fin des années 1960 avec une moyenne de 20% par rapport à la pluviométrie enregistrée entre 1950 et 1969.

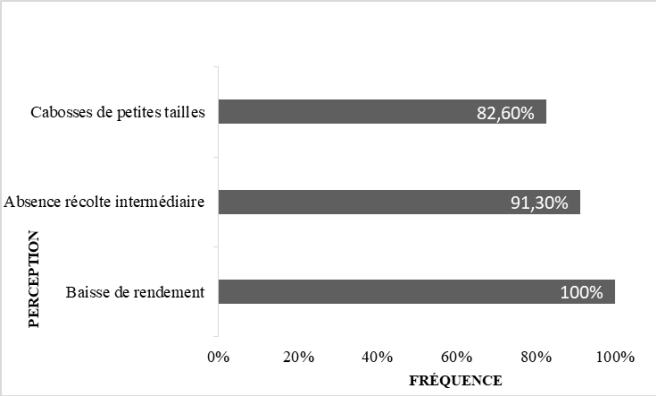


Figure 9. Perception des producteurs sur les différentes conséquences de cette irrégularité de pluie sur la production de cacao

2.3 Effet de l'irrégularité des pluies sur la production de cacao à Sakété

2.3.1 Régime pluviométrique de Sakété

Le secteur est caractérisé par deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches.

Le mois de janvier est considéré comme le plus sec avec les précipitations moyennes de 27.5 mm et celui de juin le plus humide avec des précipitations moyennes de 192,9 mm. Cependant les précipitations annuelles sont en moyenne égales à 1144,5mm. La température moyenne est de 27.4°C avec le mois de février considéré comme le plus chaud pour 29°C et celui d'août comme le plus froid de l'année pour 24.9°C.

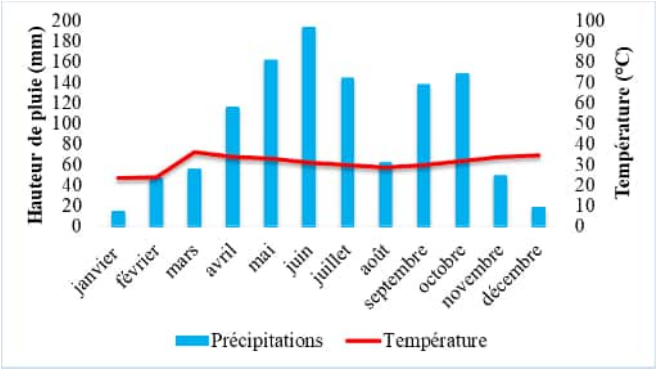


Figure 10. Diagramme ombrothermique de la période 1990 à 2019

Source des données : Météo Bénin (Station de Porto-Novo, 2019)

2.3.2 Variabilité interannuelle des hauteurs pluviométriques à Sakété

La figure 6 présente les années excédentaires, déficitaires et moyennes. La moyenne annuelle est de 1144.5 mm, ce qui ne couvre pas les 1200 mm requis pour satisfaire les besoins annuels en eau du cacaoyer. Les années excédentaires sont celles dont les hauteurs de pluie sont supérieures à 1373.6 mm et celles déficitaires sont celles inférieures à 915,4 mm et moyennes celles dont les hauteurs annuelles de pluie sont proches ou égale à la moyenne de la série.

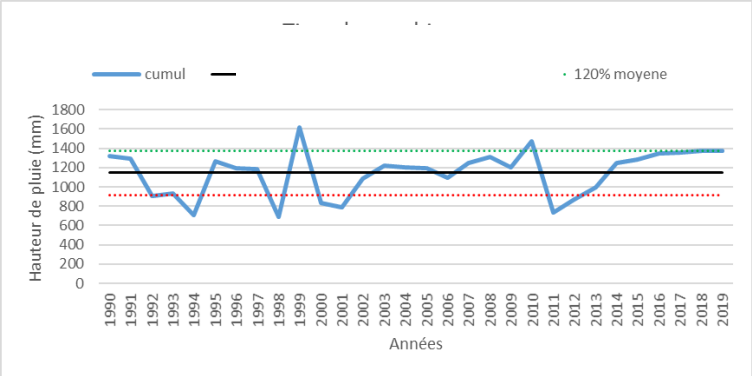


Figure 11. Variabilité interannuelle des hauteurs pluviométriques à Sakété

Source des données : Météo Bénin (Station de Porto-Novo, 2019)

L'analyse montre que la commune a enregistré 11 années déficitaires, 8 années normales et 11 années excédentaires, soit 36,66 % d'années déficitaires, 26,67 % d'années moyenne et 36,66 % d'années excédentaires.

Les résultats corroborent ceux de BROU et al. (2003), qui expliquent que les hauteurs pluviométriques annuelles pour la culture du cacao doivent atteindre au minimum 1200 à 1500 mm, avec un nombre limité de jours secs. Mais pour PETITHUGUENIN (1998), même si le seuil 1250 mm est tolérable par la plante, un minimum de 1500 mm est meilleur.

La réduction de la phase humide peut entrainer une perte importante de la récolte (KASSIN et *al.,* 2008).

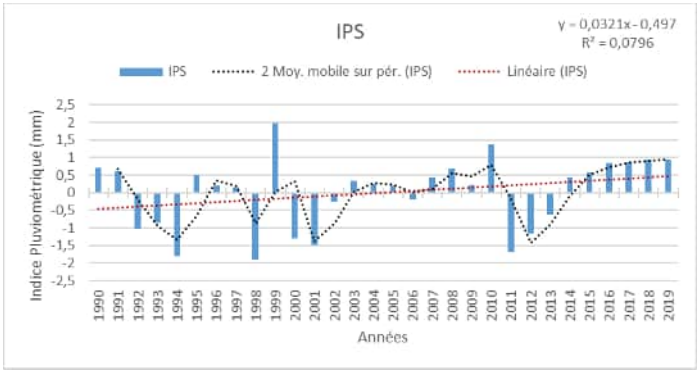


Figure 12. Indice de Pluviométrie Santard à Sakété

Source des données : Météo Bénin (Station de Porto-Novo, 2019)

3. Evolution de la production cacaoyère à Sakété

Le travail effectué a concerné la superficie emblavée, le rendement et la production aussi la relation entre production et variabilité pluviométrique.

3.1 Production de cacao à Sakété

La production de cacao est faite par 0,1% des ménages agricoles et destinée à la vente au Nigéria.

3.2 Précipitations et rendements du cacao à Sakété

Le test statistique de régression linéaire montre que l'irrégularité des pluies influence significativement et négativement la production de cacao (P-value : 0.0189) avec 0.0189 < 0.05

L'étude montre que les rendements baissent alors que la tendance pluviométrique est à la hausse. Le phénomène serait lié à une mauvaise répartition des pluies et qui fait que les besoins en eau sont moins satisfaits pendant les phases de croissance et ou de floraison du cacaoyer et entraine les baisses de rendement surtout le poids des fèves (KASSIN et al. 2008)

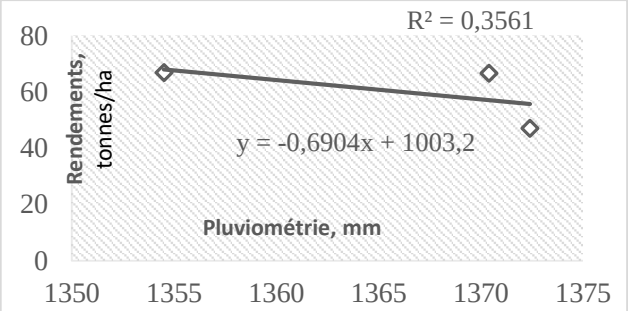


Figure 13. Evolution des rendements de cacao en fonction des hauteurs pluviométriques à Sakété

Source des données : Météo Bénin (Station de Porto-Novo, 2019)

Conclusion

L'étude menée à Sakété révèle l'irrégularité des pluies. Elle met en évidence une variabilité pluviométrique à Sakété durant les trente (30) dernières années avec 36,66% d'années déficitaire. Durant ces années déficitaires,18% ont des cumuls pluviométriques inférieurs à 700 mm durant les saisons pluvieuses. Le cacaoyer se retrouve dans un état de stress hydrique au cours de ces années. L'étude a révélé un allongement de la durée de la saison sèche qui accroît le stress hydrique auquel est soumis le cacaoyer. Ce qui entraîne la baisse de rendement qui se traduit par les cabosses de petites tailles et le manque de récolte.

Bibliographie

AKPONIKPE P. B. I., JOHNSTON P. et E. A. AGBOSSOU (2010). Farmers' perception of climate change and adaptation strategies in Sub-Saharan West-Africa, 2nd International Conference : Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions. Fortaleza – Ceará. Brazil. 15 p

BCEAO, (2014). Etude monographique sur la filière cacao dans l'UEMOA. Consulté le 04 Mai 2020 de www.bceao.int

BROU YT, NGoran JAK., BICOT S et SERVAT E, 2003. Risque climatique et production agricole en Côte d'Ivoire : effet des variations pluviométriques sur la production cacaoyère. In : Actes de la 14ème conférence internationale sur la recherche cacaoyère (Accra, Ghana, 18-23 octobre 2003) : 259-267

FAO (2019). Bénin : Classement-Fève de cacao- Production (Tonnes). Consulté le 09 Juin 2020 de fr.actualitix.com

GANDONOU (2006). Monographie de la commune de Sakété. Consulté le 20 Juin 2020 de www.google.com

INSAE, (2013). Cahier des villages et quartiers de ville de département du Plateau (RGPH-4, 2013). Consulté le 13 juin 2020 de https://www.insae.com

KASSIN K. E, DOFFANGUI K, KOUAME B (2008), R. G. Yoro, A. Assa. Variabilité pluviométrique et perspectives pour la replantation cacaoyère dans le Centre Ouest de la Côte d'Ivoire

OGOUWALE E. et M. BOKO (2006). Evolution des climats et risques agricoles dans le Bénin méridional et central. Climat et Développement, 3 : pp 34-44

PETITHUGUENIN (1998). Les conditions naturelles de production du cacao en Côte d'Ivoire, au Ghana et en Indonésie. p.393

SERVAT E, PATUREL JE, LUBES H, KOUAME B, OUEDRAOGO M, MASSON JM, 1997.Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea part I: detail analysis of the phenomenon in Côte d'Ivoire. J. Hydrol. 191: 1-15.

TRADEFARMER (2013). Le blog du service agricole

ÉVOLUTION DE L'INDICE HELIOTHERMIQUE DE BRANAS DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'EMERGENCE DE LA VITICULTURE EN BRETAGNE

Gaëlla PERRON[1], Valérie BONNARDOT[2]

[1] *Université Rennes 2, Master 2 GAED parcours Télédétection et Environnement, 2 Place du Recteur Le Moal, 35043 Rennes Cedex, France. gaella.perron@etudiant.univ-rennes2.fr*

[2] *Université Rennes 2, UMR 6554 LETG CNRS, 2 Place du Recteur le Moal, 35043 Rennes Cedex, France. valerie.bonnardot@univ-rennes2.fr*

Résumé *: Dans le contexte du changement climatique et d'extension de la viticulture vers des latitudes plus élevées, cette étude s'intéresse à l'évolution d'un indice climatique, le produit héliothermique de Branas à partir duquel une limite septentrionale de la culture de la vigne en France avait été dessinée en milieu de 20ième siècle, partant, à l'ouest, du sud la Bretagne. À partir de calculs pour deux périodes trentenaires (1961–1990 et 1991–2020), il apparait que le seuil de 2,6 initialement utilisé comme limite septentrionale est dépassé sur tout l'espace breton en moyenne sur la période 1961–1990. Sur la période 1991-2020, les valeurs d'indice les plus élevées au sud et à l'est de la région se rapprochent de celle de Bordeaux calculée sur 1961-1990 (6,6). Cette valeur référence de 6,6 est dépassée en milieu viticole breton en 2022 et 2023 et le seuil de 2,6 dépasse la latitude du sud de la Suède sur la période 1991-2020.*

Mots-clés : *changement climatique, indice héliothermique de Branas, viticulture, Bretagne*

Abstract: ***Evolution of the Branas Heliothermal index in the context of climate change and the emergence of viticulture in Brittany.*** *In the context of climate change and the expansion of viticulture towards higher latitudes, this study examines the evolution of a climatic index, the Branas heliothermic product, from which a northern limit of grapevine cultivation in France was drawn in the mid-20th century—starting to the west, from southern Brittany. Calculations for two 30-year periods (1961–1990 and 1991–2020) reveal that the 2.6 threshold, initially used as the northern limit, is exceeded across all of Brittany on average over 1961–1990. During 1991–2020, the highest index values in the south and east of the region approach that of Bordeaux calculated for 1961–1990 (6.6). This reference value of 6.6 was exceeded in the winegrowing areas of Brittany in 2022 and 2023, while the 2.6 threshold extends beyond the latitude of southern Sweden for the 1991–2020 period.*

Keywords: *climate change, Branas heliothermic index, viticulture, Brittany*

Introduction

Les impacts du changement climatique sont observés à l'échelle mondiale et régionale sur tous les écosystèmes et l'augmentation des températures entraîne, entre autres, la modification de la répartition géographique des espèces et des cultures agricoles. La viticulture européenne témoigne de cette évolution avec une extension, vers des latitudes plus septentrionales comme par exemple l'Angleterre (Nesbitt *et al*., 2022), la Belgique (Doutreloup, 2024) ou encore la Bretagne en France (Bonnardot *et al*., 2022). Cette extension est également et surtout liée à une modification réglementaire européenne concernant les droits de plantation de vigne, survenue en 2016, qui autorise le développement de vignobles commerciaux dans des territoires historiquement non viticoles.

Dans ce contexte climatique et réglementaire de l'émergence de la culture de la vigne vers d'autres territoires, de nombreux indices, traditionnels ou plus récents, sont utilisés pour évaluer leur potentiel climatique pour la viticulture. Parmi les indices climatiques anciennement utilisés dans les manuels de viticulture, le produit héliothermique de Branas, combinant les potentialités thermiques et photopériodiques (Branas *et al*., 1946), parait intéressant à mobiliser à nouveau puisqu'il avait permis d'objectiver une limite septentrionale de la culture de la vigne en Europe. En France, sur la période ancienne (on suppose le début du 20ème siècle d'après la date de parution de l'ouvrage), cette limite était située à Vannes sur le littoral sud-est breton en utilisant l'isohéliotherme d'une valeur de 2,6 (Huglin, 1986).

Ainsi, dans le contexte du changement climatique et du développement de la viticulture en Bretagne, on peut se questionner sur l'évolution de cet indice et la progression de cette limite sur l'espace de la Bretagne pour compléter les études sur le potentiel climatique de la région pour la viticulture (Petitjean *et al*., 2023) et au-delà.

2. Site d'étude, données et méthodes

La carte de la figure 1 ci-dessous présente la limite septentrionale de la culture de la vigne en Europe correspondant à l'isohéliotherme 2,6 de l'indice de Branas (Branas *et al*., 1946).



Figure 1. Localisation de la limite de la culture septentrionale de la vigne en Europe d'après Branas et al. (1946), adaptée de Huglin (1986) et de la région d'intérêt (Bretagne, encart vert).

L'indice héliothermique de Branas (IHB) est calculé selon la formule suivante :

$$IHB = \frac{(\sum_{j=1}^{365} \max(TM(j) - 10{,}0)) \times (\sum_{j=1}^{365} DuréeJour(j))}{10^6}$$

Cet indice couvre ainsi la période de l'année pour laquelle les températures moyennes quotidiennes sont supérieures à 10°C (max TM(j)) et prend également en compte la longueur du jour (DuréeJour(j)) variable en fonction de la latitude. Ce calcul permet de compenser le déficit radiatif des latitudes élevées par leur plus longue exposition solaire en saison végétative.

Dans cette étude, l'indice de Branas a été calculé en utilisant les données climatiques quotidiennes provenant de trois sources différentes et l'analyse se concentre principalement sur la Bretagne (France) avec des comparaisons avec Bordeaux (45°N) et trois stations européennes (situées entre 50 et 55°N) :

- Données Météo-France (https://meteo.data.gouv.fr)
  - Maillage SAFRAN-Isba (résolution 8 km) sur la période 1959-2023 pour la spatialisation de l'indice de Branas sur la région Bretagne.
  - 5 stations du réseau synoptique (en Bretagne + Bordeaux) pour estimer le biais du maillage SAFRAN sur la période 1961-2020.

- Données du réseau de stations météorologiques implantées en milieu viticole breton (Bonnardot *et al*., 2022) (Fig.1), pour les années particulières 2022 et 2023.

- En complément, des données à l'échelle européenne issues du réseau de la NOAA (https://www.ncei.noaa.gov) sont utilisées pour la période 1991-2020 pour 3 stations en position plus septentrionales dans des pays où la vigne se développe : Uccle en Belgique (50.80° N ; 4.35°E), Hastings en Angleterre (50.85 °N ; 0.57°E) et Malmö en Suède (55.57°N ; 13.05°E).

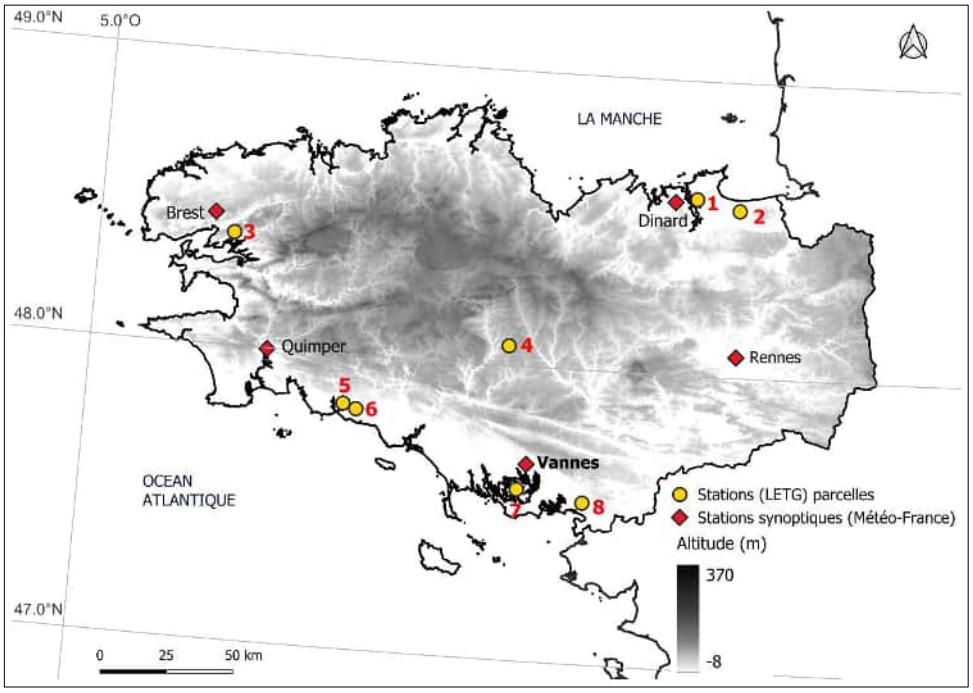


Figure 2. Localisation des stations météorologiques en milieu viticole breton issues du réseau de l'UMR LETG (Bonnardot et al., 2022).

Les températures moyennes nécessaires au calcul de l'IHB ont été calculées à partir des températures minimales et maximales journalières (TM = (TN+TX) /2)) sur deux périodes climatiques trentenaires (1961–1990 et 1991–2020) afin d'étudier l'évolution de cet indice.

L'ensemble des traitements numériques (calculs, analyses statistiques) a été réalisé en Python (librairies pandas, numpy, matplotlib, geopandas) tandis que la cartographie a été réalisée sous QGIS.

3. Résultats

D'après le tableau 1 et les résultats pour quelques stations en Bretagne et à Bordeaux, outre l'augmentation des valeurs de l'indice de Branas entre les deux périodes considérées (1961-1990 et 1991-2020), les calculs à partir de deux jeux de données soulignent le biais froid des données SAFRAN par rapport aux données stationnelles. Celui atteint est de l'ordre de 0,2 en moyenne et varie de 0 à 0,3 selon les stations et les périodes.

Tableau 3. Indice de Branas sur les périodes 1961-1990 et 1991-2020 calculé à partir des données de stations synoptiques et à partir des données SAFRAN pour des stations synoptiques de Bretagne et Bordeaux. (* période 1968-1990 pour Quimper et compilation de 3 sites vannetais pour la station de Vannes, période 1991-2020).

	Indice Branas (station)		**Indice Branas (SAFRAN)**	
Stations	**1961-1990**	**1991-2020**	**1961-1990**	**1991-2020**
Dinard	4,4	5	4,4	5
Brest	3,8	4,5	3,8	4,5
Rennes	5	6	4,8	5,8
Quimper*	4,4*	5	4,3	4,9
Vannes*	5,3	6 *	5	5,9
Bordeaux	6,6	8,3	6,4	7,9

La cartographie de l'indice de Branas sur l'espace de la Bretagne (Fig.3), réalisée avec les données SAFRAN, a pris en compte, respectivement comme bornes inférieure et supérieure de classification, la valeur de 2,6 qui correspond à celle de la limite septentrionale en milieu de 20ème siècle à la latitude de Vannes (Fig.1) et la valeur de 6,6 qui correspond à la valeur de Bordeaux en position méridionale (~45°N) sur la période historique 1961-1990 calculée à partir des données de la station synoptique (Tab.1).

Sur la période 1961–1990 (Fig.3a), on observe que le seuil de 2,6 est atteint et dépassé sur l'ensemble du territoire breton. La valeur minimale de l'indice est de 2,9 en centre-ouest breton et ne dépasse pas la valeur de 5,3. Tout le littoral sud en général et l'est du territoire tombent dans la classe IHB 4,6-5,6 ; à l'image des valeurs de Vannes, Quimper, Dinard et Rennes (Tab.1).

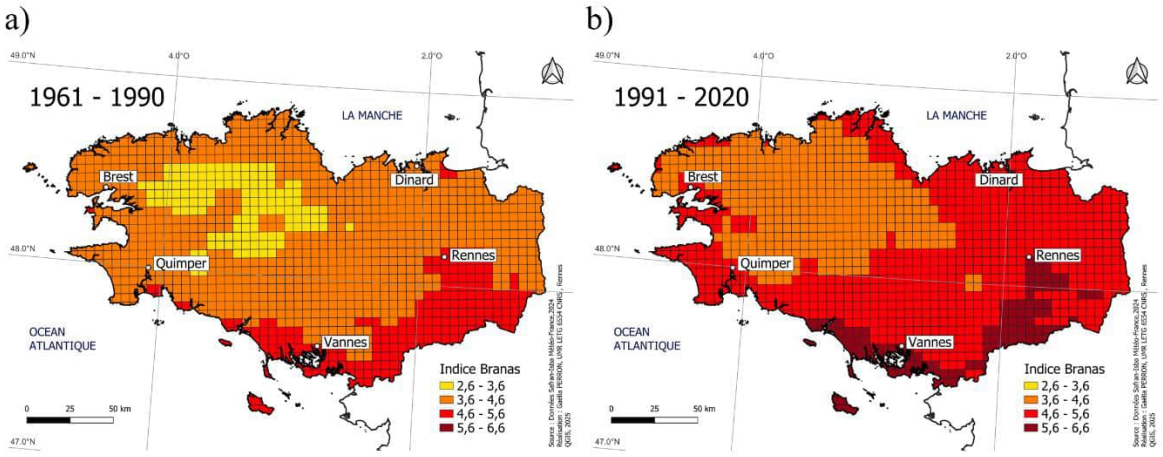


Figure 14. Indice de Branas calculé à partir des données SAFRAN sur l'espace de la Bretagne pour les périodes : a) 1961-1990 ; b) 1991-2020.

Sur la période trentenaire plus récente, 1991-2020, (Fig.3b), l'indice de Branas a augmenté sur l'ensemble du territoire breton et fait apparaitre deux classes supérieures. La classe 2,6-3,6 a disparu et la classe 3,6-4,6 se limite aux hauteurs du centre-ouest avec une valeur minimale de 3,6 alors que le littoral sud et l'est de la Bretagne atteignent désormais des valeurs comprises entre 5,6 et 6,6. Les valeurs correspondant aux mailles Safran de Rennes (5.8) et Vannes (5,9) se rapprochent de à 0,4 et 0,5 de la valeur calculée pour Bordeaux (6,4) sur la période historique 1961-1990 (Tab.1). Les valeurs les plus élevées enregistrées sur l'espace breton s'élèvent à 6,0 et se situent au sud de Rennes. L'analyse des résultats permet également de constater l'effet

altitudinal et les gradients ouest-est et nord-sud conformément aux gradients thermiques généralement constatés sur la Bretagne (Amiot *et al*., 2023).

Pour élargir au contexte européen, les résultats de l'indice de Branas calculé avec les données de la NOAA pour les stations de Uccle en Belgique, Hastings en Angleterre et Malmö en Suède indiquent que le seuil de 2,6 est également dépassé à des latitudes plus septentrionales sur la période 1991-2020 et atteint des valeurs correspondant à la classe 3,6-4,6 pour les stations de Hastings et Malmö (Tab.2). La station belge (Tab.2) affiche la même valeur que la station bretonne de Quimper avec les données SAFRAN (Tab.1) et rentre dans la classe 4,6-5,6.

Tableau 2 : Valeurs moyennes de l'indice de Branas calculé sur la période 1991-2020 pour 3 stations européenne proche d'un site viticole avec les données de la NOAA.

	Uccle	Hastings	Malmö
IHB	4,9	4,5	4,1

Enfin, l'indice IHB calculé avec les données de température issues du réseau de stations météorologiques implantées dans des parcelles viticoles sur le territoire de la Bretagne souligne les particularités des facteurs locaux et saisonniers. À l'échelle locale du milieu viticole breton et sous les conditions thermiques chaudes des années 2022 et 2023, l'indice présente des valeurs proches et/ou supérieures à celle de la référence de Bordeaux sur la période 1961-1990 (6,6) (Fig.4). Les stations du littoral sud breton (stations n°5, 6, 7 et 8) affichent les valeurs d'IHB les plus élevées (entre 7 et 8 en 2022).

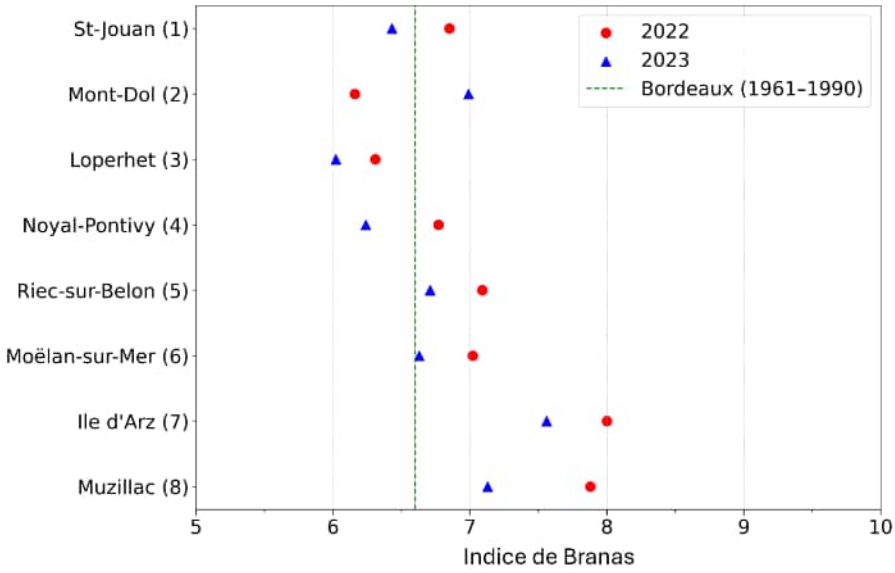


Figure 15. Valeurs de l'indice de Branas (IHB) calculé pour les années 2022 (en rouge) et 2023 (en bleu) avec des données de température issues du réseau de stations météorologiques situées dans des parcelles de vigne en Bretagne. La ligne pointillée verte représente la valeur de référence de l'IHB à la station de Météo-France de Bordeaux-Mérignac sur la période 1961-1990). Le chiffre entre parenthèse situé à côté du nom de la parcelle permet d'identifier la localisation sur la carte de la Fig.2.

Conclusion

Les résultats indiquent que la valeur « seuil » initiale de 2,6, définissant la limite septentrionale de la vigne en Europe, est largement dépassée en Bretagne dès la période 1961–1990. Sur la période plus récente (1991–2020), le réchauffement implique une augmentation de l'indice de Branas et certaines localités bretonnes atteignent presque la valeur de 6,4 (maille Safran) calculée pour Bordeaux sur la période 1961–1990. Les conditions saisonnières de 2022–2023 et locales de différents milieux viticoles bretons révèlent des valeurs IHB comprises entre 6,0 et 8,0 tandis que les valeurs calculées pour des stations européennes plus

septentrionales illustrent la remontée vers le nord de la limite climatique septentrionale pour la viticulture.

In fine, cette étude montre la rapidité à laquelle cet indice évolue comme les différents indices pour la viticulture conformément à l'évolution des températures. Il reste une référence pour l'évaluation du potentiel climatique pour la viticulture mais son évolution dans le temps et l'espace témoigne surtout de l'ampleur du changement climatique en Bretagne et de la nécessité de l'adaptation et de l'atténuation dans les différents territoires.

Bibliographie

Amiot L., Dubreuil V., & Bonnardot V., 2023, Le changement climatique en Bretagne : cartographie sur la période observée (1951-2020) et future (2031-2100), *Norois* Vol.266.

Bonnardot V., Thibault J., Petitjean T., Tissot C. & Quénol H., 2022 : La vigne en Bretagne sous observation climatique. *Actes du 35ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, Session Observation et Modélisation. Météo-France, Toulouse, Juillet 2022. 6p. https://hal.science/hal-03757308

Branas J., Bernon G. & Levadoux L., 1946 : *Éléments de viticulture générale*, École Nationale d'Agriculture de Montpellier, 400 p.

Doutreloup S., 2024 : *La culture de la vigne en Belgique face au réchauffement climatique* [Paper presentation]. *Viti Focus*, Gembloux, Belgium. https://hdl.handle.net/2268/325283

Huglin P., 1986 : Biologie et écologie de la vigne, Tec&Doc, Lavoisier 371p.

Nesbitt A., Dorling S., Jones R., Smith D., Krumins M., Gannon K., Dorling L., Johnson Z. & Conway D., 2022 : *Climate change projections for UK viticulture to 2040: A focus on improving suitability for Pinot Noir. OENO One*, 56 (3). 69–87.

Petitjean T., Bonnardot V., Tissot C., Chassaing T., Quénol H., 2023 : Représentations spatiales du potentiel de maturité des cépages Chardonnay et Chenin en régions Bretagne et Pays de la Loire (1976-2100). Climatologie, 21, 2.

ETAT DE SURVIE DES FORETS D'ANACARDIER FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ACTIVITES HUMAINES DANS LA REGION BOENY, OUEST DE MADAGASCAR

Andry Richette RABENARSON[1], Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY[2] et Rakotoniaina Norosoa Christine RAFAZINDRAMANANA[3]

(1)Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Université d'Antananarivo,Madagascar, andryrichette@yahoo.com

(2) Faculté des Sciences de Technologies et de l'Environnement (FSTE) / Ecole Doctorale sur les Ecosystèmes Naturels Université de Mahajanga, Madagascar, ttjorlin@yahoo.com

(3) Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA), Université d'Antananarivo, Madagascar, cnorosoa_00389@yahoo.fr /soamananjara@gmail.com

Résumé : *L'anacardier (Anacardium occidentale), s'est développé principalement sur la côte nord-ouest de Madagascar. Ce fruit joue un rôle écologique et économique important pour les régions et l'État. Cependant, la filière est aujourd'hui négligée et les informations sur les surfaces exploitées sont rares. Cette étude évalue la vulnérabilité de cette culture face aux changements climatiques et aux pressions anthropiques. Plusieurs méthodes d'analyse ont été utilisées, permettant de mieux comprendre les mécanismes de survie des anacardiers faces aux défis climatiques et anthropiques. Les résultats obtenus ont également permis de formuler des recommandations en faveur d'une gestion durable et efficace de ces forêts dans un contexte de changement environnementaux globaux.*

Mots clés : *Région Boeny, Anacardium occidentalis changements climatiques, pressions anthropiques*

Abstract: Survival state of cashew forests in the face of climate change and human activities in the Boeny Region, Western Madagascar. *The cashew tree (Anacardium occidentale), has mainly developed along the northwestern coast of Madagascar. This fruit plays an important ecological and economic role for the regions and the state. However, the sector is now neglected, and information about the exploited areas is scarce. This study assesses the vulnerability of this crop to climate change and anthropogenic pressures. Several analytical methods were used, providing a better understanding of the survival mechanisms of cashew trees in response to climatic human-induced challenges. The results also led to recommendations for the sustainable and effective management of these forests in the face of global environmental changes.*

Keywords*: Region Boeny, Anacardium occidentalis, climate change, anthropogenic pressures*

I. Introduction

L'anacardier (*Anacardium occidentale L.*), connu sous le nom de noix de cajou (ou Mahabibo en malgache), est un produit agricole de plus en plus important dans les pays tropicaux, tant pour sa consommation locale que pour sa valeur économique à l'exportation (FAO, 2020; Rakotondrasoa et al., 2019). La demande mondiale pour ses noix est en constante augmentation, alimentée notamment par l'Inde, le Vietnam et les pays européens tels que la Belgique et la Norvège (PAGE, 2021). Cependant, cette filière est aujourd'hui confrontée à de nombreuses contraintes liées à la volatilité des prix, mais surtout aux effets du changement climatique et aux pressions anthropiques (IPCC, 2021; Harisoa & Ranaivo, 2020). À Madagascar, et en particulier dans la région Boeny, les plantations d'anacardiers, bien que prometteuses, subissent les impacts croissants de la dégradation des sols, des feux de brousse, de la baisse de la pluviométrie et de l'expansion agricole non contrôlée (Rasolofoson *et al.,* 2018 ; Ravelomanana *et al.,* 2022). Reconnue pour ses grandes plantations initiées dans les années 1970, la région Boeny représente aujourd'hui un terrain d'étude pertinent pour analyser la résilience des vergers d'anacardiers face à ces perturbations (Rakotondrasoa *et al.,* 2019). En effet, le changement climatique, conjugué aux pratiques humaines non-durables, menace à la fois la survie de ces espèces ligneuses et la durabilité économique de la filière (Ndour et al., 2017).

2. Données et Méthodes

2..1. Site d'étude

L'étude a été menéee dans la Région Boeny, district de Marovoay, plus précisement dans la commune rurale d'Ankazomborona, au Fokontany de Sainte-Marie. Cette zone s'étend entre 16°06' et 16°09' de latitude Sud et 46°44' et 46°47' de longitude Est. La région jouit d'un climat de savane à hiver sec (Aw) selon la classification de Köppen-Geiger ; avec une température moyenne annuelle de 26,9°C et des précipitations de 1306,2 mm par an. La saison des pluies dure de décembre à mars, suivie d'une saison sèche de mai à octobre.

2.2. Données d'enquêtes et floristiques

La perception villageoise provient d'un entretien auprès de la population locale, constituée d'agriculteurs, des associations locales et des comités de base, qui ont été déployés pour le recueil des données nécessaires à cette étude. L'étude a pris en compte l'impact du changement climatique et l'adaptation des anacardiers à ces contraintes, ainsi que les effets des activités humaines telles que la déforestation, les feux de brousse ou agriculture extensive. L'analyse de l'indice pluviométrique et de l'indice de stress agro-climatologique, a été effectuée. Ensuite, les inventaires floristiques ont permis de recenser les espèces végétales présentes ainsi que leurs états sanitaires. Ces données ont servi à évaluer la croissance et la vulnérabilité des anacardiers face aux différentes pressions environnementales.

2.3. Données climatiques

Les paramètres climatiques, dont la température de l'air atmosphérique et la pluviométrie sont analysées sur une période de référence de 1993 - 2024 ainsi que des projections climatiques selon le scénario RCP4.5 (Representative Concentration Pathway) du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution Climatique (GIEC). Ces projections sont présentées afin d'illustrer les tendances climatiques de 2020 à 2099. Le scénario RCP4.5 correspond à la stabilisation du forçage radiatif d'ici 2100. Ces données de projections climatiques proviennent du site WBG-CCKP (World Bank Group – Climate Change Knowledge Portal http://sdwebx.worldbank.org/ climateportal). Les précipitations et les températures moyennes mensuelles sont considérées afin de présenter les variations observées.

3. Résultats et Discussion

En se basant sur la perception villageoise, la sensation de forte chaleur a été évoquée par la majorité des villageois enquêtés (58%) comme étant le principal problème lié au dérèglement climatique actuel dans la région Boeny. Une forte inondation accentuée par la destruction des habitats naturels et la succession des cyclones a été affirmée par quelques personnes proches des ressources naturelles, soit respectivement 26,57% des enquêtés. Huit pour cent (8) % des enquêtés confirmaient que les feux sauvages et le défrichement ne font que renforcer la situation de la sècheresse ainsi que le retard des pluies.

3.1. Faits historiques des températures et précipitations

La figure 1 ci-après montre l'historique de la température et précipitation annuelle moyenne pour la région de Mahajanga. Une tendance considérable de la température a été constatée avec une augmentation de l'ordre de +0,8°C, tandis que la précipitation ne montre d'un très faible changement, soit une augmentation de 87,3 mm pendant la période historique de 1993 à 2024.

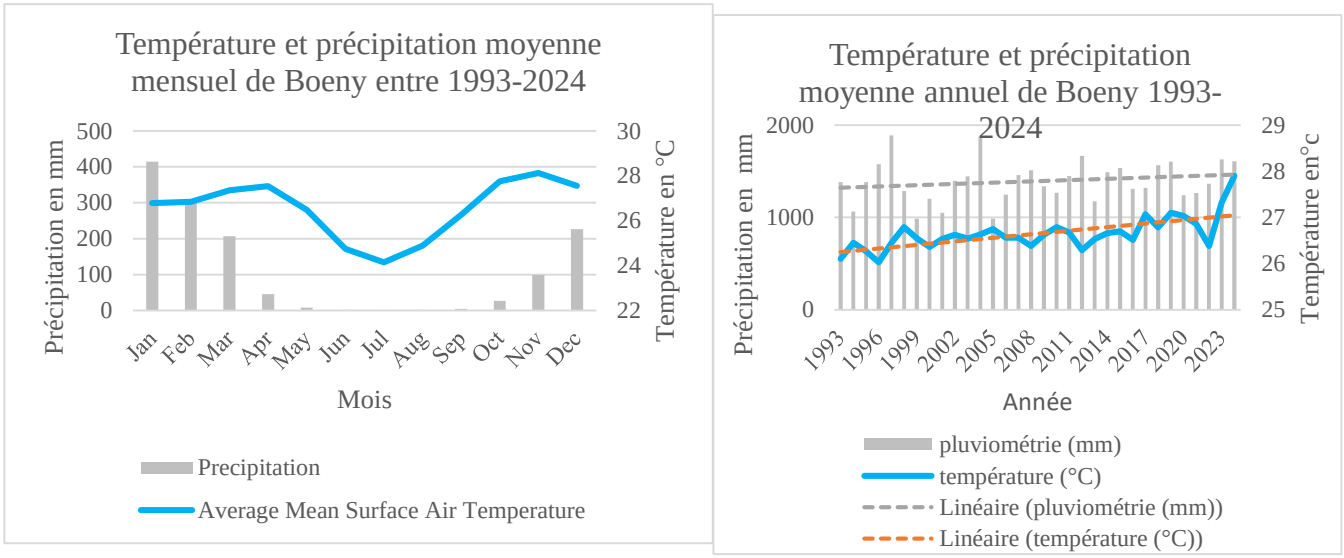


Figure 16. Données Historique de latempérature et précipitation dans la Région Boeny pendant la période 1993-2024 (WBG-CCKP, 2025)

3.2. Projection des températures et précipitations dans la Région Boeny

Les deux figures suivantes (Fig 2) résument la projection climatique dans la region Boeny entre l'année 2020 à 2100.

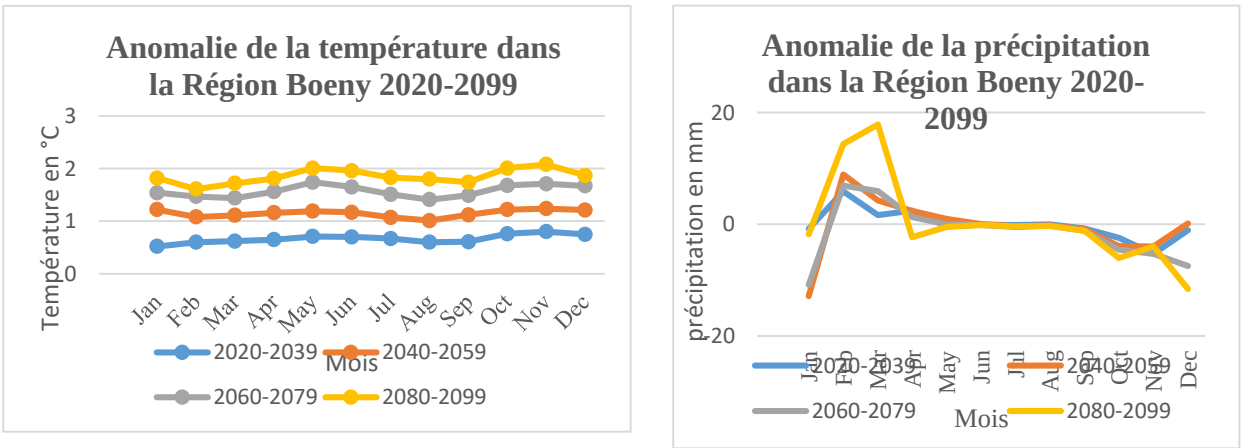


Figure 17: projection de température et précipitation dans la Région Boeny, Madagascar pour la prochaine 80 années à venir (WBG-CCKP, 2025)

Les résultats des simulations climatiques de 2020 à 2099 (Fig.2) montrent la variation de température et de précipitation dans la région Boeny qui verra une variation de – 11,57mm à + 17,86 mm de précipitation dont une baisse de – 11,57 mm (décembre) et une augmentation de +17,86 mm (mars) vers la fin de la saison pluvieuse. Quant à la température, il y aura une hausse de + 0,52°C à + 2,08°C pour Mahajanga

3.3. Vulnérabilité des anacardiers face au changement climatique et aux activités anthropiques

Étant donné que ce climat tropicale de savane est propice à la culture de l'anacardier, les variations des quantités de pluie, qu'elles soient modérées ou abondantes, constituent l'un des facteurs déterminants du rendement de cette culture. En se basant sur les données climatiques annuelles de la région Boeny, l'indice pluviométrique annuel de la Région montre qu'il y ait et qu'il y aura toujours un excès de pluie dans la Région. Or, selon Yabi et *al.* (2010), une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 1000 et 1600 mm constitue la norme pluviométrique et une température moyenne mensuelle comprise entre 12 et 32 °C constitue la norme thermométrique idéale à l'anacardier.

Les valeurs pluviométriques et thermométriques enregistrées correspondent donc aux limites acceptables par l'anacardier et les seuils minimum sont toujours atteints pour le cas de Boeny. Les résultats de l'enquête menée confirment que les producteurs sont conscients que les anacardiers s'adaptent bien aux changements climatiques. Cependant, le rendement reste souvent très variable. Cette variation s'explique par le fait que la récolte des anacardiers a lieu entre le mois de mai à octobre dans la région Boeny, tandis que la période la plus humide, correspondant à la saison cyclonique, s'étend de décembre à mars. Cette période coïncide avec la floraison et la fructification des anacardiers. Les conditions climatiques instables, telles que les fortes pluies et les cyclones, entraînent la chute des fleurs et des fruits immatures, ce qui affecte directement le rendement.

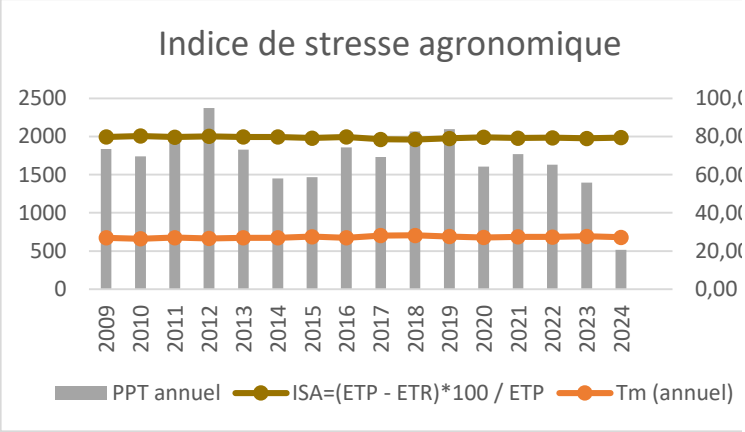


Figure 18. indices de stress agro-climatologique (auteur, 2025)

L'indice de stress agro-climatologique (ISA), qui est l'un des indicateurs de la vulnérabilité des anacardiers face au changement climatique. L'importance de cet indice réside dans le fait qu'il prend en compte non seulement les paramètres climatiques (pluviométrie, ETP), mais aussi les paramètres pédologiques (Yabi, 2008). Les valeurs de l'ISA varient entre 79,14 et 80,28 dans les 16 dernières années. Or, lorsque la valeur de cet indice approche de 100 (ETR = 0), les conditions deviennent défavorables à la satisfaction des besoins hydriques de la plante (Yabi, 2008).

Ces valeurs relativement élevées indiquent des conditions peu favorables à une bonne production de noix d'anacarde, ce qui suggère que les besoins en eau de l'anacardier sont de moins en moins satisfaits (**Pamphile D.S, 2019)**. Par conséquent, l'arbre se trouve dans des conditions de plus en plus défavorables à sa production optimale et sensible aux maladies ou attaque des ravageurs. Pour pallier ces variations de rendement, les producteurs associent d'autres espèces de cultures dans leurs vergers d'anacardiers, telles que les mangues et les

citrons. Cependant, ces associations se limitent principalement aux surfaces situées à proximité immédiate des vergers, autour des exploitations des producteurs.

Par rapport au reboisement des Anacardiers, le déséquilibre entre les deux saisons, marqué par une longue période sèche et un raccourcissement de la période humide entraine un assèchement massif des jeunes anacardes après deux ans de plantation. Dans le cas de l'Aire protégée du Complexe Mahavavy-Kinkony, la réduction du taux de réussite du reboisement de l'espèce a été confirmée par la communauté locale du District de Mitsinjo, une baisse du taux de réussite passant de 90 % à 40 % dès la deuxième année après plantation. Les feux de savane souvent appliqués par les éleveurs détruisent les arbres adultes, ce qui ne fait qu'aggraver la situation.

3.4. Pressions et menaces sur les vergers des anacardiers

Les anacardiers sont passés du statut de culture économique à celui d'arbres sauvages. En dépit des efforts des partenaires techniques, tels que l'achat et la redistribution de jeunes plants aux producteurs, la production est freinée par des contraintes humaines, techniques et financières.

Outre le vieillissement des arbres et les maladies rencontrées dans les vergers, les activités anthropiques représentent une menace importante pour la culture des anacardiers. La Commune Rurale de Marovoay, située dans le District de Marovoay, est l'une des Communes ayant le plus fort taux de bétail de la région de Boeny. Avec l'arrivée des migrants, chaque ménage pratique, dans une certaine mesure, l'élevage de petits et grands ruminants. Les éleveurs recourent fréquemment aux feux de brousse pour renouveler les pâturages et faciliter la repousse de l'herbe. Ces pratiques, bien que traditionnelles, ont un impact dévastateur sur les plantations d'anacardiers, qui ne sont pas suffisamment protégées par des pares-feux efficaces ni par des stratégies de prévention adaptées. En effet, les feux de brousse répétitifs détruisent non seulement la végétation environnante, mais compromettent également la croissance des jeunes plants d'anacardier, qui sont particulièrement vulnérables aux incendies. Cette situation fragilise les vergers, entraîne une diminution progressive de la production et dissuade de nombreux producteurs, notamment les petits exploitants privés, de poursuivre leurs activités. Face à ces ravages, des centaines d'hectares sont ainsi abandonnés, ce qui a un impact économique non négligeable sur les familles rurales dépendantes de cette culture. Par ailleurs, l'absence de mesures de gestion intégrée des terres et de sensibilisation sur les risques liés aux feux de brousse accentue le phénomène. Il est donc crucial de mettre en place des actions concertées impliquant les communautés locales, les autorités et les acteurs agricoles (comité de pilotage) afin de promouvoir des pratiques d'élevage plus durables et de renforcer la protection des vergers. La création de pare-feu solides, la mise en œuvre de formations sur la gestion des feux, ainsi que l'introduction de techniques alternatives pour le renouvellement des pâturages pourraient contribuer à préserver ces espaces cultivés. Par ailleurs, pour pallier les pénuries énergétiques, les riverains coupent les anacardiers pour en faire du charbon de bois ou du bois de chauffe, ce qui conduit à un changement de vocation des terres."

Conclusion

En somme, bien que le climat de la région de Boeny demeure globalement favorable à la culture de l'anacardier, les données climatiques révèlent une tendance inquiétante à l'augmentation des températures et à l'instabilité de la pluviométrie, exacerbée par des phénomènes extrêmes tels que cyclones et fortes précipitations. Ces fluctuations climatiques fragilisent profondément la culture, notamment durant les phases critiques de floraison et de fructification, réduisant ainsi les rendements. L'indice de stress agro-climatologique (ISA) confirme par ailleurs que les conditions hydriques deviennent de moins en moins propices au

développement optimal des vergers. Parallèlement à ces contraintes climatiques, les activités humaines — notamment les feux de brousse récurrents, l'élevage extensif non régulé et l'exploitation abusive des anacardiers pour la production de charbon de bois — aggravent la vulnérabilité des plantations. Ces pressions anthropiques entraînent une dégradation accélérée des vergers, limitent leur régénération naturelle et compromettent la pérennité même de cette culture essentielle pour les communautés locales. Face à ce double enjeu, la survie des anacardiers dans la région est aujourd'hui mise à rude épreuve. Il devient crucial d'adopter des stratégies agricoles innovantes et durables, visant non seulement à améliorer les pratiques culturales et à renforcer la protection contre les incendies, mais aussi à restaurer les écosystèmes fragilisés. En outre, la diversification des activités économiques des producteurs est indispensable pour renforcer leur résilience face aux chocs climatiques et socio-économiques. Seule une approche intégrée, combinant adaptation climatique, gestion durable des ressources naturelles et engagement communautaire, permettra d'assurer la pérennité des vergers d'anacardiers et de préserver cet atout vital pour le développement rural dans la région de Boeny.

Bibliographie

FAO, 2020: *The State of the World's Forests 2020 – Forests, biodiversity and people*. Rome. https://doi.org/10.4060/ca8642en

Harisoa, F., Ranaivo, J., 2020: *Impacts des activités anthropiques sur la dynamique forestière à Madagascar: cas de la région Boeny*. *Revue Malgache des Sciences de l'Environnement*, **6(1),** 45–54.

IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

Programme d'Appui à la Gestion de l'Environnement (PAGE, ancien PGM-E/GIZ), 2021 : *Analyse sur la filière Anacarde de Madagascar,* 65p

Ndour, A., Diatta, S., & Ba, A. T., 2017: *Effets du stress hydrique sur la croissance et le rendement de l'anacardier (Anacardium occidentale). Journal Africain d'Agriculture Durable*, **12(2),** 89–97.

Rakotondrasoa, S., Ravelomanana, R., & Andriamananjara, A., 2019: *Contribution de la culture de l'anacardier au développement rural dans la région Boeny. Cahiers Agricultures, **28**, 12*

Rasolofoson, R. A., Hanauer, M. M., & Poudyal, M.,2018: *Deforestation in Madagascar: What are the major drivers? Environmental Conservation*, **45(2),** 148–157.

Ravelomanana, R. et al., 2022: *Évaluation des impacts des changements climatiques sur les productions agricoles dans la région Boeny. Bulletin de l'Institut National de Recherche Agronomique de Madagascar*, **34(1),** 33–48

Pamphile D.S, 2019 : *Vulnérabilité de la production des noix d'anacarde à la variabilité climatique dans la commune de Glazoue,* 38 p

Yabi I., 2008 : ***Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatique à son développement dans le centre du Bénin, 240 p***

Yabi I., Boko M., Sinsin B., 2010 : *Atlas de la biodiversité da l'Afrique de l'Ouest*, Tome 1, Cotonou (Bénin) et Frankut (Allemagne) pp, 216-221

World Bank Group – Climate Change Knowledge Portal, 2025*: Historical climate and Future climate*. http://sdwebx.worldbank.org/climateportal

AGRICULTURE CLIMATO-INTELLIGENTE (ACI) ET RESILIENCE DES SYSTEMES DE PRODUCTION FACE AUX CHANGEMENT CLIMATIQUE EN REGION HAUTE MATSIATRA, MADAGASCAR

Rindra RANDRIAMIFIDISON[1], Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY[2], Tantely Maminiaina ANDRIANAIVO[3], Lily Arison DE ROLLAND [4]

1Institut Supérieur de Technologie Ambositra Madagascar, rindrarandriamifidison@yahoo.fr

2 Université de Mahajanga Madagascar, ttjorlin@yahoo.fr

3Institut Supérieur de Technologie Ambositra Madagascar, jackiemaminiaina@gmail.com

4 Université de Toliara Madagascar, The peregrine fund, lilyarison@yahoo.fr

Résumé : *Le changement climatique en Haute Matsiatra se traduit par une hausse des températures et une variabilité accrue des précipitations, affectant la productivité agricole. Le riz est particulièrement sensible à la chaleur, tandis que le haricot est peu impacté et la pomme de terre bénéficie d'une légère amélioration liée à la température. La dépendance à l'agriculture pluviale, la faible diversification, la maîtrise limitée des techniques et l'accès restreint aux variétés résistantes augmentent la vulnérabilité des exploitations. L'Agriculture Climato-Intelligente apparaît donc comme une solution clé pour renforcer l'adaptation et la résilience des systèmes agricoles locaux face à ces défis*

Mots clés *: Climat, Rendement agricole, modélisation, ACI, Haute Matsiatra*

Abstract: Enhancing Production System Resilience through Climate-Smart Agriculture in the Haute Matsiatra Region, Madagascar. *Climate change in Haute Matsiatra leads to rising temperatures and increased rainfall variability, impacting crop productivity. Rice is highly sensitive to heat, while beans are less affected, and potatoes show slight yield gains due to temperature. Reliance on rainfed farming, limited techniques, low crop diversity, and restricted access to resilient varieties increase vulnerability. Climate-Smart Agriculture is essential to enhance local farming adaptation and resilience*

Keywords*: Climate, crop yield, modelization, CSA, Haute Matsiatra*

Introduction

La Région Haute Matsiatra à Madagascar, connue pour son rôle essentiel dans la sécurité alimentaire nationale, est aujourd'hui confrontée à des transformations majeures liées aux changements climatiques. Ces derniers se manifestent par une hausse progressive de la température (+0,9 °C en 20 ans) et une réduction projetée des précipitations annuelles de 4,6 % d'ici 2039 (Andrianaivo, 2024). Ces évolutions menacent les moyens d'existence des agriculteurs locaux et posent des défis cruciaux à la durabilité des systèmes agricoles (Garruchet et *al.*). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des changements climatiques sur les productions agricoles majeures (riz, pomme de terre, haricot) pour l'analyse de la pertinence de l'Agriculture Climato-Intelligente (ACI) comme stratégie d'adaptation dans le contexte malgache.

2. Matériels et méthodes

2.1 Zone d'étude

La recherche a été menée dans la Commune Urbaine de Fianarantsoa, située dans la Région Haute Matsiatra, sur les hautes terres centrales de Madagascar. La Commune se situe entre 45,51° et 47,41° de longitude Est et entre 20,68° et 22,21° de latitude Sud. Elle s'étend sur une superficie de 20.880 km2 (Andrianaivo, 2024). La Commune urbaine (CU) de Fianarantsoa est dotée d'un climat de type tropical d'altitude qui alterne deux saisons bien distinctes : De novembre en avril : période chaude et pluvieuse laquelle concentre 90 % des précipitations. (1.000 à 1.200 mm/an) (Andrianaivo, 2024). La température maximale peut atteindre 30°C ; De mai à octobre : période fraîche et humide pendant laquelle la température peut diminuer jusqu'à 6°C (Andrianaivo, 2024).

2.2 Méthodologie d'acquisition de données

2.2.1. Collectes de Données climatiques

Les données climatiques ont été obtenues sur la plateforme Climate Change Knowledge Portal de la Banque mondiale https://climateknowledgeportal.worldbank.org combinées à celles obtenues sur la plate forme de l'Institut de Recherche pour le Développement ClimatsSud https://climatssuds.ird.fr (période entre 2014-2024) . L'objectif dans cette démarche est de collecter des données climatiques de la Région Haute Matsiatra, analyser les données pour détecter les tendances de température et de précipitation. Ainsi que vérifier les changements significatifs dans les données climatiques. ClimatSuds centralise les données climatiques simulant les impacts du changement climatique, ce qui permet de prendre des décisions à tous les niveaux sur les domaines clefs tels que l'agriculture, la gestion de l'eau, la biodiversité, etc. Notons que les données de modélisation proviennent du CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6), reconnu pour sa rigueur scientifique et utilisé comme base des rapports du GIEC (Thrasher et al., 2022). Deux scénarios d'évolution climatique ont été pris en compte : SSP2-4.5 : scénario d'émission modéré ; SSP5-8.5 : scénario d'émission élevé (O'Neill &al, 2016). Chaque scénario comprend 22 modèles climatiques dont les moyennes multimodèles ont été calculées pour chaque variable d'intérêt.

2.2.2 Collecte des données sur la production agricole

Des enquêtes ont été conçues dans une optique d'acquisition de données quantitatives fines, visant à documenter les dynamiques locales du changement climatique. Elles ont porté spécifiquement sur l'évolution perçue des paramètres météorologiques, leurs impacts sur la production des cultures stratégiques (*Oriza sativa, Solanum tuberosum, Phaseolus vulgaris*), les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les producteurs, ainsi que les implications sur la sécurité alimentaire des ménages agricoles. La collecte des données s'est appuyée sur une combinaison d'enquêtes structurées et d'observations de terrain ciblées sur ces trois spéculations agricoles, sélectionnées en raison de leur importance économique et nutritionnelle dans la région. Cette phase de terrain, critique pour la robustesse des résultats, a permis de caractériser avec précision les facteurs de vulnérabilité climatique et les réponses adaptatives au niveau local, garantissant ainsi la validité contextuelle des analyses produites. Dans ce sens, 62 agriculteurs sur la périphérie de la ville de Fianarantsoa ont été ciblés : Ambodikavola (15), Andriamboasary (16), Amontana (21), Anasana (10), sélectionnés par méthode de grappes.

2.3 Traitement de données

Deux techniques statistiques ont été mobilisées : la régression linéaire avec XLSTAT pour modéliser la relation entre les variables explicatives (température, précipitation) et les rendements agricoles (variable dépendante), avec évaluation du coefficient de détermination R^2 avec la formule

$R^2 = 1 - \sum(yi - \hat{y}i)^2 / \sum(yi - \bar{y})^2$, où : *yi* représente les valeurs observées de la variable dépendante, $\hat{y}i$ représente les valeurs prédites par le modèle, $\bar{y}$ est la moyenne des valeurs observées, $\sum(yi - \hat{y}i)^2$ est la somme des carrés des résidus (ou erreurs), $\sum(yi - \bar{y})^2$ est la somme totale des carrés, qui mesure la dispersion totale des valeurs observées.

Puis la régression logistique avec le logiciel R 3.4.0, utilisant la fonction GLM ou **Generalized Linear Models**) pour prédire la probabilité de baisse de rendement en fonction de cinq facteurs climatiques : élévation des températures (X1), variation pluviométrique (X2), sécheresse (X3), inondation (X4), et cyclone (X5). L'analyse a permis d'identifier les variables explicatives significatives via les coefficients, erreurs standards, z-scores et p-values. L'interprétation s'est fondée sur les résidus de déviance, les coefficients estimés et les odds

ratios, traduisant l'effet marginal des aléas climatiques sur la probabilité d'une chute de rendement.

Suite à la description des méthodes d'acquisition et d'analyse des données, les résultats de l'étude sont présentés dans la section suivante.

3. Résultats et discussion

3.1 Données climatiques

Les données historiques sont présentées dans les graphiques ci-dessous. Respectivement la précipitation annuelle et la température moyenne

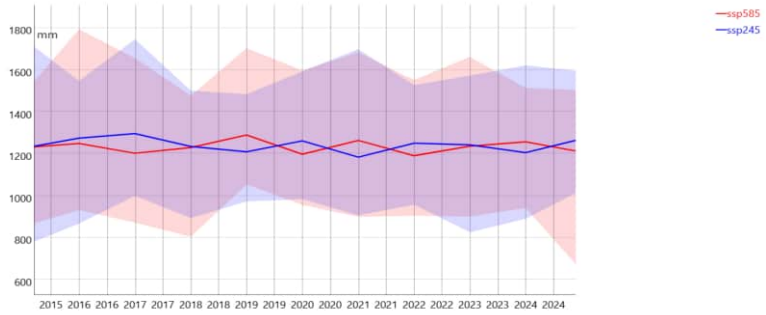


Figure 1. Précipitation annuelle dans la ville de Fianarantsoa entre 2014 et 2024 (ClimatsSud IRD, 2025)

Entre 2015 et 2024, les deux courbes restent relativement stables, oscillant autour de 1200 mm/an, sans tendance marquée à la hausse ou à la baisse. Les zones colorées autour des courbes (rouge pour SSP585 et bleu pour SSP245) indiquent les intervalles d'incertitude ou de variabilité interannuelle possible. Ces bandes montrent que les précipitations pourraient varier entre environ 800 mm et 1700 mm, selon les années et les modèles. (Figure 2)

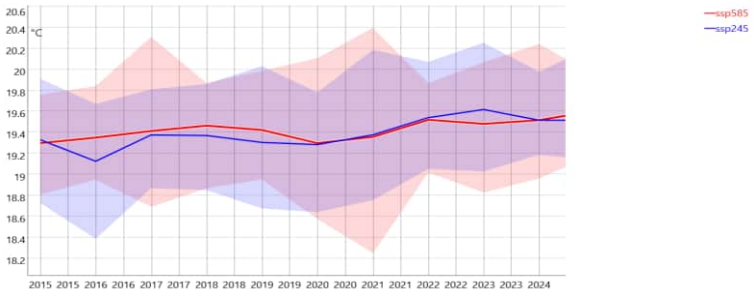


Figure 2. Historique de la température annuelle pour la ville de Fianarantsoa de 2014 à 2024 (ClimatsSud IRD, 2025)

La température moyenne annuelle oscille autour de 19,3 °C à 19,5 °C. Entre 2015 et 2024, la température annuelle moyenne varie entre 18,2 °C et 20,4 °C, avec une tendance globale à la hausse Comme le montre la figure 4.

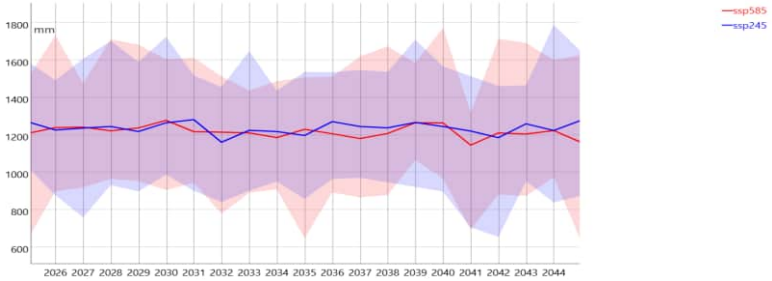


Figure 3. Projection de la précipitation annuelle dans la ville de Fianarantsoa entre 2025 et 2045 (ClimatsSud IRD, 2025)

Entre 2024 et 2044, les précipitations annuelles moyennes restent globalement stables autour de 1200 à 1250 mm, quel que soit le scénario climatique (SSP245 ou SSP585). Toutefois, une forte variabilité est observée, avec des précipitations annuelles pouvant descendre jusqu'à environ 600 mm (SSP245 en 2041) et monter jusqu'à 1700 mm (SSP245 en 2043 et SSP585 entre 2038 et 2040). Cette variabilité devient plus marquée à partir de 2040, en particulier sous le scénario SSP585, traduisant un risque accru d'événements extrêmes (sécheresse ou fortes pluies) dans un contexte de réchauffement climatique intensifié.

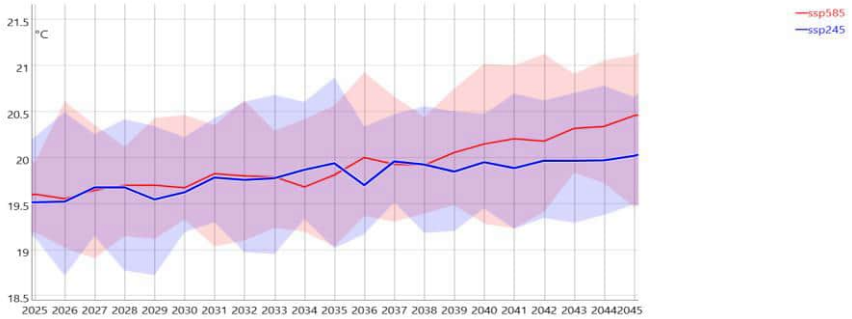


Figure 4. Projection de la température entre 2025 à 2045 (ClimatsSud IRD, 2025)

Le graphique présente des projections de température (°C) de 2025 à 2045, comparant un scénario d'émissions élevées (ssp585, rouge) et un scénario d'émissions faibles (ssp245, bleu). Les deux scénarios prévoient une augmentation globale de la température sur cette période, avec des températures minimales autour de 19,5°C et des températures maximales atteignant environ 20,5°C (ssp585) et 20°C (ssp245) vers 2045. Le scénario ssp585 indique une augmentation de température plus importante (environ 1°C) que le scénario ssp245 (environ 0,5°C). Parallèlement, selon les données de CCKP, la température max augmentera de 0,9 °C en cette période. Elles prévoient une hausse de température de +1,2 °C ; et une baisse de 47,56 mm de pluie/an.

3.2 Analyse des impacts des paramètres climatiques sur le rendement agricole et stratégies ACI

3.2.1. Sensibilité du riz à la température

L'équation de régression linéaire obtenue pour le riz est $Y = -12{,}721X + 282{,}07$; $R^2 = 0{,}3519$. En effet, une augmentation de température 0,7 °C (moyenne pour les deux scenarii considérés) pourrait avoir diverses implications avec une diminution de -12,721 tonnes de la production annuelle dans la zone d'étude. Une projection basée sur une augmentation de 1,2 °C prévoit une perte de 21,8 tonnes, en l'absence de modifications des pratiques agricoles. Le coefficient de détermination $R^2 = 0{,}3519$ suggère que 35,19 % de la variabilité des rendements peut être expliquée par la température, soulignant une relation significative mais partielle. Cette modélisation souligne la vulnérabilité du riz aux changements climatiques, tout en suggérant qu'un ensemble de facteurs exogènes (précipitations, qualité du sol, intrants, pressions biotiques) intervient également dans la dynamique de rendement.

3.2.2. Haricot : réponse faible aux variations thermiques

La régression linéaire donne l'équation $Y = -3{,}303X + 591{,}29$; $R^2 = 0{,}0025$. La relation entre température et rendement du haricot s'avère statistiquement négligeable, avec un R^2 de 0,0025, soit une part expliquée de seulement 0,25 %. La pente légèrement négative suggère une baisse moyenne de 3,303 unités par degré Celsius, mais l'absence de significativité statistique rend toute projection incertaine. La baisse estimée de 3,41 tonnes doit ainsi être interprétée avec prudence. Ces résultats indiquent que le rendement du haricot est fortement influencé par d'autres variables (hydrologie, fertilité, maladies, pratiques culturales).

3.2.3. Pomme de terre : réponse favorable à la hausse thermique

La régression linéaire s'écrit Y = 336,86X + 3251,4 ; R^2 = 0,5016. Les résultats montrent une corrélation positive modérée à forte entre température et rendement de la pomme de terre. La pente indique une augmentation de 336,86 unités par degré Celsius, tandis que R^2 = 0,5016 révèle que 50,16 % de la variance du rendement est expliquée par la température. Une hausse projetée de 1,2 °C impliquerait une augmentation de 577,47 tonnes de production. Toutefois, il est crucial de souligner que cette relation est probablement non linéaire au-delà d'un seuil thermique optimal ; au-delà de certaines températures, les rendements pourraient décliner.

L'analyse par régression logistique indique que les températures élevées, les sécheresses, les inondations et les cyclones sont significativement associés à une probabilité accrue de réduction de rendement ($p < 0,05$). Les coefficients positifs et les odds ratios > 1 révèlent un effet multiplicatif des facteurs climatiques sur le risque de baisse de production. (Figures 5,6,7,8,9)



Figure n° 6,6,7,8,9 : Relation entre les paramètres climatiques et rendements agricoles de riz, de haricot, de pomme de terre

Conclusion

Il est noté que les pertes agricoles ne sont pas uniquement imputables aux moyennes climatiques (comme la température annuelle), mais également aux aléas extrêmes, renforçant la nécessité d'intégrer ces événements dans les stratégies d'adaptation (Morton, 2007 ; IPCC, 2022). Le contexte local révèle une prédominance de l'agriculture pluviale, avec une absence quasi-totale d'irrigation, rendant les systèmes de production particulièrement sensibles aux anomalies pluviométriques (FAO, 2021). L'accès limité aux variétés tolérantes au stress (sécheresse, inondation, chaleur) accentue cette fragilité (Thornton *et al*., 2011). Par ailleurs, la

faible diversification des systèmes de culture exacerbe les risques économiques et alimentaires en cas de défaillance d'une culture principale. Ces éléments structurants contribuent à une vulnérabilité systémique accrue, où les capacités adaptatives demeurent limitées, notamment en contexte rural à faibles ressources (Vincent, 2007). Les analyses révèlent des réponses différenciées des cultures aux variables climatiques, avec une sensibilité marquée du riz, une résilience apparente du haricot (sous réserve d'autres facteurs explicatifs), et une réponse positive de la pomme de terre à l'élévation des températures. Toutefois, la présence croissante d'événements climatiques extrêmes, combinée aux limites structurelles des systèmes agricoles (agriculture pluviale, variétés non résilientes, faible diversification), alourdit le risque de déclin des rendements agricoles (Schlenker & Lobell, 2010). Ces résultats appellent à un renforcement des stratégies d'adaptation climato-intelligentes, intégrant amélioration variétale, diversification des cultures, irrigation efficiente, et systèmes d'alerte précoce. Tout ceci combiné à un système politique efficient qui intègre l'ACI dans le contenu. Rappelons qu avec l'ACI

Bibliographie

- Andrianaivo T.M., 2024. Évaluation de l'agriculture intelligente face au climat dans la Région Haute Matsiatra, cas de la Commune urbaine de Fianarantsoa. Mémoire de Master en Production végétale, IST Ambositra, Madagascar. 85 p.

- FAO, 2021. The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture- Systems at Breaking Point. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations

- IPCC, 2022. Climate Change, 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 87p.

- Morton, J. F., 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(50), 19680–19685

- O'Neill BC, Tebaldi C, Van Vuuren DP, Eyring V, Friedlingstein P, Hurtt G, Knutti R, Kriegler E, Lamarque JF, Lowe J, Meehl GA. 2016. The scenario model intercomparison project (Scenario MIP) for CMIP6. GMD 9(9) : 3461–3482pp

- GarruchetV.Bosc P-M,Mialet-Serra I., 2023. L'Agriculture à Madagascar : Évolution, chiffres clés et défis 88p.

- Schlenker W.&Lobell, D. B., 2010. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. Environmental Research Letters, 5(1), 014010

- Thornton P.K., Jones P.G, Ericksen, P.J&Challinor, A.J, 2011. Agriculture and food systems in sub-Saharan Africa in a 4°C+ world. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 369, 117–136

- Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A. et al. 2022. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. Sci Data 9, 262 . https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4

- Vincent K., 2007. Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. Global Environmental Change, 17(1), 12–24

PERCEPTION PAYSANNE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE DISTRICT DE MADINGOU (CONGO-BRAZZAVILLE)

Gaston SAMBA

Université Marien Ngouabi, Tel. : +242 055387943, E-mail : sambagaston@gmail.com

Résumé : *La présente étude est une analyse de la perception empirique du changement climatique par des paysans dans le district de Madingou (Congo-Brazzaville). Pour ce faire, nous avons utilisé le processus du modèle de Heckman pour analyser cette perception. Le modèle repose sur les données issues des différentes enquêtes réalisées auprès des paysans, des entretiens de groupe et des observations de terrain dans le district de Madingou. Cette étude documente la perception des paysans du district de Madingou sur le changement climatique. Il en résulte que la perception du changement climatique par les paysans de ce district est significativement liée à l'âge, au capital social, à l'éducation du chef de famille, à la taille du ménage et au contexte agroécologique. La plupart des agriculteurs attribuent le changement climatique à des forces surnaturelles.*

Mots clés *: Congo, District de Madingou, changement climatiques, perception paysanne.*

Abstract: *This study analyses the empirical perception of climate change by farmers in the Madingou district (Congo-Brazzaville). To do this, we used the Heckman model process to analyze these perceptions. This model is based on data from several surveys of farmers, group interviews and field observations in Madingou District. This study documents farmers' perceptions of climate change in Madingou District. The results show that farmer's perceptions of climate change by farmers in this district are significantly related to age, social capital, education of the head of household, household size and agroecological context. Most farmers attribute climate change to supernatural forces*

Keywords*: Congo, Madingou District, climate change, farmers' perception*

Introduction

Le changement climatique englobe les problèmes environnementaux globaux à effets locaux, tels que les inondations, l'élévation du niveau des océans, l'augmentation de la température de l'air, la variabilité des précipitations et les phénomènes météorologiques extrêmes. Le changement climatique, ici, désigne toute modification du climat au fil du temps, qu'elle soit due à la variabilité naturelle et/ou à l'activité humaine (IPCC, 2007). Ainsi, il devient une préoccupation pour les organisations internationales et les institutions gouvernementales (Nkoyi Kibimi, 2019) en raison de ses impacts sur différents secteurs tels que l'agriculture et les écosystèmes naturels ou anthropisés. Le changement climatique impose des contraintes au développement, notamment dans les zones rurales, où les agriculteurs, comme ceux du district de Madingou (figure 1 et tableau 1), dépendent principalement de l'agriculture pluviale et sont donc tributaires des aléas climatiques. L'objectif de cette étude est d'identifier les principaux facteurs influençant la perception du changement climatique dans le district de Madingou.

1. Données et méthodes

1.1. Données

La présente étude est basée sur les données des enquêtes réalisées auprès des ménages paysans au cours des années 2021, 2022 et 2024, à l'aide d'un questionnaire structuré comportant des questions fermées. Les fichiers de données ainsi constitués ont été intégrés dans la base de données développée par le CR2E (Centre de recherche en économie) de l'École normale supérieure de l'Université Marien Ngouabi (Congo). Celle-ci permet d'analyser la perception du changement climatique auprès des paysans sélectionnés au hasard. Les paysans ont été choisis de manière à être représentatifs de l'ensemble du village. Un nombre critique, d'un total de 150 paysans agriculteurs, a été retenu à partir des catégories de variables de contrôle suivantes : l'âge du chef de ménage, le niveau d'éducation formelle le plus élevé, les

causes du changement climatique, les changements perçus concernant le début et le décalage des saisons, la durée des saisons et la fréquence des sécheresses. Le test du Khi carré de Pearson ($\chi 2$) a été utilisé pour déterminer, à un niveau de signification de 5 %, toute association entre les perceptions du changement climatique par les paysans agriculteurs.

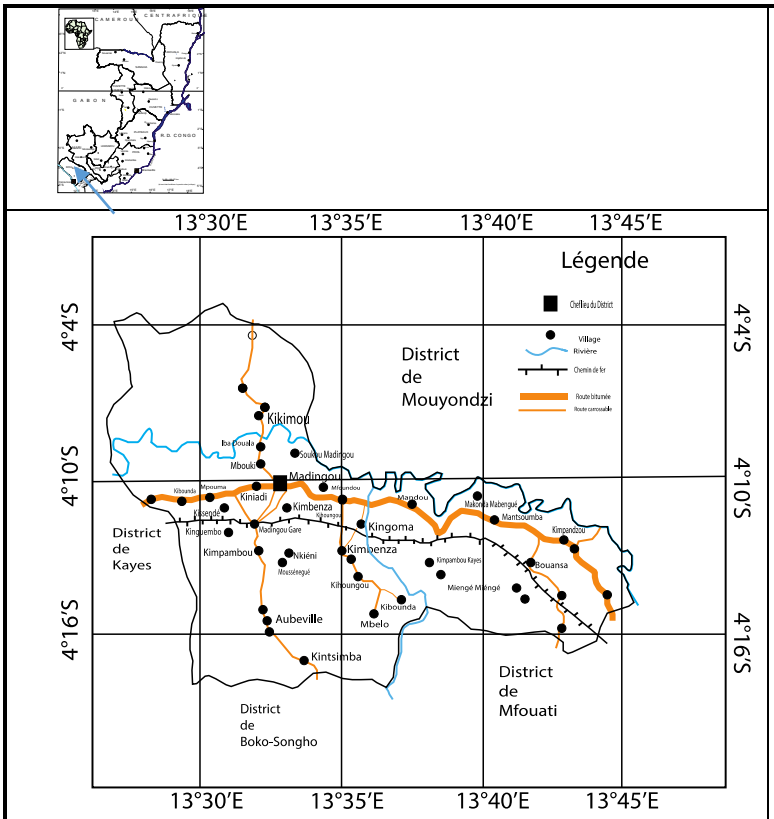


Figure 19. Localisation du district de Madingou

Tableau 4. Les localités où ont été portées les applications du modèle Probit

information1	Nb. cit.	Fréq.
Bouansa	20	13,3%
Kibounda	11	7,3%
Kikimou	20	13,3%
Kimbenza Ndiba	20	13,3%
Matsoumba	20	13,3%
Mboma	19	12,7%
Moupépé	20	13,3%
Mpika	20	13,3%
TOTAL OBS.	**150**	**100%**

Enquêtes personnelles de 2021 à 2024

1.2. Modèle empirique et variables du modèle

Pour déterminer la taille de l'échantillon nécessaire afin de mesurer la perception auprès des paysans du district de Madingou avec un certain degré de précision et avec un niveau donné de signification statistique, la formule suivante a été utilisée :

$$S = \frac{X^2 NP(1-P)}{d^2(N-1) + X^2 P(1-P)}$$

avec : S = taille d'échantillon requise, X2 = la valeur du tableau du khi-deux pour 1 degré de liberté au niveau de confiance souhaité (3,841), N = la taille de la population, P = la proportion de la population (supposée être de 0,50 puisque cela fournirait la taille maximale de l'échantillon), d = le degré de précision exprimé en proportion (0,05).

Le modèle probit de Heckman a été utilisé en raison des similitudes conceptuelles avec les études sur le changement climatique. Par exemple, Nhemachena et Hassan (2007) ont utilisé ce modèle probit multivarié pour analyser les facteurs influençant le choix des options d'adaptation au changement climatique en Afrique australe. Le modèle de sélection de l'échantillon part du postulat qu'il existe une relation sous-jacente qui peut s'exprimer par l'équation latente :

$$y_j^* = x_j\beta + u_{1j} \qquad \text{(équation 1)}$$

où yj est la variable latente (la propension à s'adapter au changement climatique), x est un k-vecteur de variables explicatives qui incluent différents facteurs supposés affecter l'adaptation, β est le paramètre estimé et u1j est un terme d'erreur.*

Par conséquent, seul le résultat binaire donné par le modèle probit est observé en tant que :

$$y_j^{probit} = \left(y_j^* > 0\right) \qquad \text{(équation 2)}$$

La variable dépendante n'est observée que si l'observation *j* est observée dans l'équation de sélection :

$$y_j^{select} = \left(z_j\delta + u_{2j} > 0\right) \qquad \text{(équation 3)}$$

$$u_1 \sim N(0,1)\ ;\ u_2 \sim N(0,1)\ ;\ corr(u_1, U_2) = \rho$$

où y_j^{select} indique si un agriculteur a perçu un changement climatique ou non, z est un vecteur de m variables explicatives qui incluent différents facteurs supposés affecter la perception, δ est l'estimation du paramètre, u2j est un terme d'erreur, et u1 et u2 sont des termes d'erreur, qui sont normalement distribués avec une moyenne de zéro et une variance de un.

La première des deux étapes du modèle de Heckman est l'étape de sélection (équation 3), qui représente la perception du changement climatique. La deuxième étape du modèle de résultat (équation 1), représente l'adaptation de l'agriculteur au changement climatique et dépend de sa perception. Le modèle de sélection probit de Heckman n'est donc utilisé que pour analyser la perception du changement climatique.

La variable dépendante de l'équation de sélection est la perception ou non du changement climatique par les agriculteurs. Les variables explicatives comprennent différents facteurs sociodémographiques et environnementaux affectant la sensibilité des agriculteurs au changement climatique ou leur perception des risques. L'hypothèse est que l'âge et l'éducation de l'enquêté (du chef de famille), l'information sur le climat, la vulgarisation des conseils relatifs aux cultures et aux autres activités (élevage, pisciculture) entre agriculteurs, le nombre de parents dans le village, les revenus agricoles et non agricoles, ainsi que les contextes agroécologiques, influencent la prise de conscience des agriculteurs face au changement climatique.

2. Résultats

2.1 Perception des changements climatiques

Les résultats des figures 2 et 3 indiquent que 55 % des agriculteurs ont perçu une augmentation des températures et 59 % une diminution des précipitations au cours des 40 dernières années. Les agriculteurs ont déclaré avoir observé des changements à travers les caractéristiques des éléments climatiques au cours des saisons.

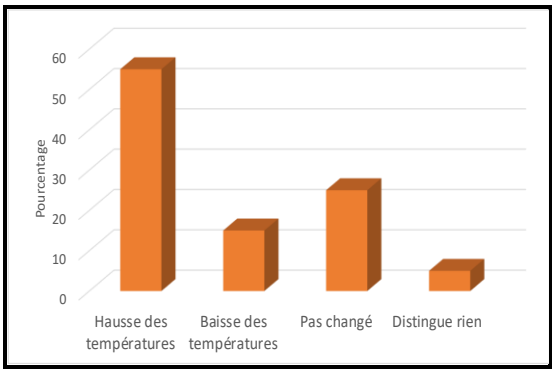


Figure 2. Fréquences de la perception des agriculteurs sur les changements des températures

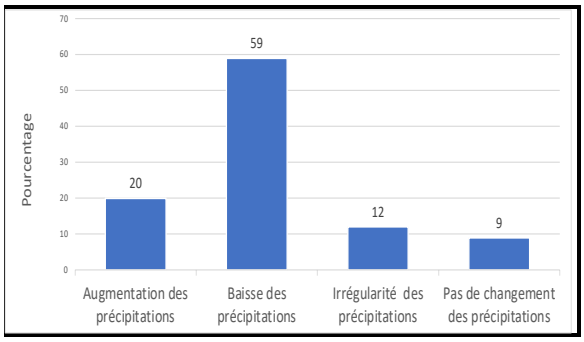


Figure 3. Fréquences de la perception des agriculteurs sur les changements des précipitations

Les résultats des figures 2 et 3 indiquent un fort pouvoir explicatif avec la fonction de vraisemblance du modèle de Heckman significative à Wald $\chi 2$=86-45, avec P<0-001. De même les résultats tableau 2 montrent que la plupart des variables explicatives et leurs valeurs marginales sont statistiquement significatives à P<0-05 et généralement dans les directions attendues.

Tableau 5. Description des variables du modèle de l'équation des résultat

	Paysans qui perçoivent les changements (%)	Paysans qui ne perçoivent pas les changements (%)
Variable dépendante Perception du changement climatique (prend la valeur de 1 si elle est perçue et de 0 dans le cas contraire)	87 %	13 %
Variables indépendantes	Moyenne	Écart-type
Âge du chef de ménage (en années)	60	2.5
Genre (féminin 1 et si masculin 0)	0,8	0,4
Niveau d'instruction du chef de ménage en années continues	2.1	1.3
Taille du ménage	6.0	2.0
Émission radio rurale	0,4	0,3
Information sur le climat (féminin 1 et si masculin 0)	0,3	0,1
Vulgarisation de paysan à paysan (si oui 1 et autrement 0)	0,8	0,2
Milieu écologique (dégradé 1 et autrement 0)	0,7	0,6

Source : enquêtes personnelles, 2021-2024

2.2. Perception du climat par le début et la fin des saisons

Les paysans du district de Madingou à 75,8 % reconnaissent traditionnellement cinq principales saisons :

- la saison fraîche qui est moins pluvieuse, nommée localement *Siwu* ou *kisiwu*, annonce le début de l'année pluvio-agricole et inclut les mois de juin, juillet et août ;

- la première saison chaude, nommée *Lwanga*, inclut normalement le mois de septembre et elle peut commencer à la mi-août et se terminer parfois en début octobre ;

- la première saison des pluies (chaude et pluvieuse), nommée traditionnellement *Ntombo-Ntété ou Ma Sansa*, s'étend d'octobre à mi-décembre ;

- la deuxième saison chaude, nommée *Mwanga*, inclut normalement les mois de janvier et février, mais quelquefois elle commence à la mi-décembre ;

- la deuxième saison des pluies (chaude et pluvieuse), nommée *Ndoolo*, marque la fin de l'année s'étend de mars à mi-mai ;

Les paysans notent des changements dans les débuts de la saison *kisiwu* (70,3 %), de la saison *Ntonbo-Ntété* (68,2 %) et de la saison *Ndoolo* (77,6 %). Les paysans sont conscients des changements beaucoup plus liés aux précipitations et températures à travers le soleil qu'aux autres éléments climatiques (vent, humidité, insolation, etc.).

2.3 Perception des causes du changement climatique

La distribution des opinions sur la figure 4 montre que les causes divines (35 %) et les interdits (33 %) sont les plus cités. Les paysans soutiennent que la désobéissance de la population aux principes divins (dieu) et/ou le manque de respect envers les esprits ancestraux et leurs coutumes sont à l'origine du changement des saisons.

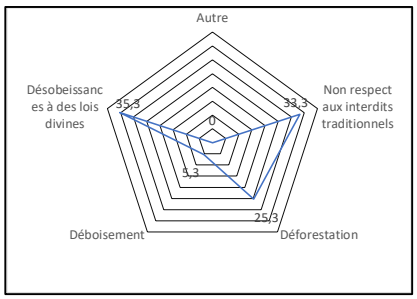


Figure 20. Fréquences de la perception des agriculteurs sur les causes du changement climatique

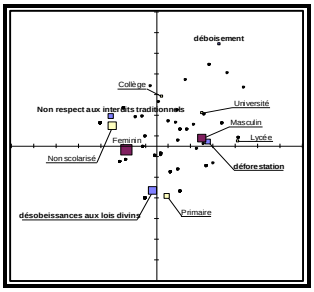


Figure 21. Analyse factorielle des causes du changement climatique selon le niveau d'instruction et le genre

La figure 5 renvoie à des considérations sur les causes des changements, liées au niveau d'instruction des populations. Si les paysans de plus de 50 ans (soit environ 60 %) reconnaissent la disparition d'un grand nombre d'arbres dans les paysages ruraux, ils reconnaissent aussi la disparition de nombreuses espèces animales. De nombreuses femmes d'environ 55 ans et plus ont affirmé que certaines espèces de poissons, qui peuplaient autrefois le fleuve Niari, certaines rivières et quelques ruisseaux, n'existent plus ou sont devenues très rares. Il s'agit des gambas, des crabes, des silures (*ngola, ntsokoto, ntsoumba*), des carpes (*kimpété kia nkoukou, nionzi, mpémo*, etc.) qui sont des poissons sensibles à la baisse des débits des ruisseaux.

2.4. Perception des effets négatifs du changement climatique

Lors de discussions de groupe, près de 80 % des personnes reconnaissent les effets négatifs du changement climatique. La figure 6 répertorie les conséquences les plus citées : la faible production agricole (due à la baisse et à la désorganisation de la pluviométrie), la faible production animale (due aux maladies accrues) et l'insécurité alimentaire accrue.

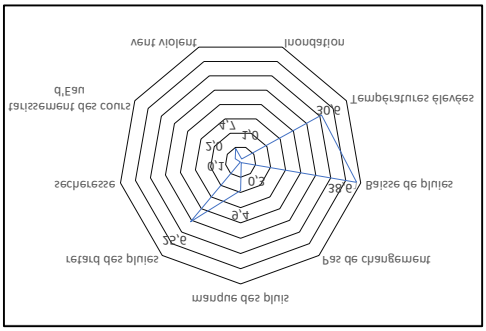


Figure 22. Fréquences des conséquences du changement climatique perçues par les agriculteurs Source : enquêtes personnelles, 2021-2024

3. Discussion

Dans un premier temps, les paysans-agriculteurs connaissent empiriquement le cycle saisonnier et perçoivent les effets du changement climatique. Dans un second temps, ils s'adaptent aux changements climatiques. Différents facteurs socio-économiques et environnementaux influent sur leur capacité à percevoir le changement climatique. Ce résultat est similaire à d'autres études sur les perceptions du changement climatique par les utilisateurs de ressources (Slegers, 2008 ; Mertz *et al.,* 2009 ; Deressa *et al.,* 2009). Conformément au paradigme de la perception adopté par Adesina et Zinnah (1993), notre étude a montré qu'il existe une association significative entre la perception des événements climatiques extrêmes par les paysans agriculteurs et les facteurs socio-économiques ou environnementaux.

Conclusion

Cette étude a montré que la plupart des agriculteurs du district de Madingou perçoivent les changements climatiques à travers les difficultés observées dans le calendrier pluvio-agricole. La majorité d'entre eux a perçu des changements, notamment à travers un raccourcissement de la saison des pluies et une plus grande variabilité de l'intensité et de la répartition des précipitations. Selon eux, les causes principales du changement climatique sont les forces surnaturelles, les sanctions divines et le non-respect des traditions ancestrales.

Bibliographie

Adesina Akinwumi A., & Zinnah Moses M. (1993) : Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics*, **9**, 297-311.

Deressa T. T., Hassan R. M., Ringler C., Alemu T., Yesuf M., 2009 : Determinants of Fanners' Choice of Adaptation Methods to Climate Change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, **19**, 248-255.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate Change 2007: Synthesis. http ://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar4/syr/ar4_syr.pdf, 112 pages.

Mertz O., Mbow C., Reenberg A. & Diouf A., 2009 : Farmers' perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel. *Environmental Management,* **43**, 804–816.

Nhemachena C. & Hassan R. M., 2007 : Micro-Level Analysis of Farmers' Adaptation to Climate Change in Southern Africa. IFPRI Discussion Paper No. 714. Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Nkoyi Kibimi B. R., 2019 : Évolution des relations internationales sur les changements climatiques, mémoire de master École normale supérieure, 70p.

Slegers M. F. W., 2008 : "If only it could rain": Farmers' perceptions of rainfall and drought in semi-arid central Tanzania. *Journal of Arid Environments*, **72**, 2106-2123. doi:10.1016/j.jaridenv.2008.06.011, http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.06.011.

CONTRAINTES CLIMATIQUES ET PRODUCTION DES NOIX D'ANACARDIER DANS LE DEPARTEMENT DES COLLINES AU CENTRE DU BENIN

Dègbélo Pamphile SOGNON[1,2,3*], Éric Laurent Sèvimi Coffi SEBO VIFAN[4], Marcel ADIGBEGNON [1,3], Sourou Henri TOTIN VODOUNON [3,5]

1 Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espaces, Cultures et Développement », Université d'Abomey-Calavi, sognonpamphile@gmail.com, adigbegnonmarcel@gmail.com

2 Aims Community College, Greeley, Colorado, United States

3 Laboratoire de Climatologie et d'Ethnoclimatologie (Labo-ClimET-UP)

4 Ecole National Supérieure des Travaux Publics (ENSTP.UNSTIM), Laboratoire de Géosciences de l'Environnement et Application (LaGEA), adjewoda02@gmail.com

5 Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, Laboratoire Pierre Pagney "Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement" (LACEEDE), Commission Permanente Climat et Environnement (CP-CE) Académie Nationale des Sciences, Arts et Lettres du Bénin (ANSALB), totinsourouhv@gmail.com

Résumé : *L'étude s'intéresse aux contraintes climatiques sur la production des noix d'anacardier dans le département des Collines au Bénin. Les données climatologiques utilisées concernent les précipitations des stations (de Savè, Dassa, Bantè, Ouèssè et Savalou), les températures, l'humidité relative, la vitesse du vent, l'ETP et l'insolation de la station synoptique de Savè (1961-2020). La période 1961-2020 est marquée par une baisse pluviométrique à Dassa-Zoumè (-2,77 %), Ouessè (-7,17 %), Savalou (-1,87 %), Savè (-3,14 %) et une augmentation à Bantè (+4,80 %). Les indices climatiques calculés n'ont pas été en phase avec les préférendums de l'anacardier. Au seuil de 95 %, la régression linéaire multiple a permis de montrer que, la part de variance expliquée par la vitesse du vent et de l'humidité relative dans la production des noix est plus élevée que celle des autres paramètres qui est très faible.*

Mots-clés : *Collines (Bénin), contraintes climatiques, noix d'anacardier, stratégie d'adaptation.*

Abstract : Climatic constraints and production of cashew nuts in the Collines department*.The study focuses on the climatic constraints on cashew nut production in the Collines department of Benin. The climatological data used concern the rainfall of the stations (Savè, Dassa, Bantè, Ouèssè, and Savalou), temperatures, relative humidity, wind speed, ETP and insolation of the synoptic station of Savè (1961-2020). The period 1961-2020 is marked by a decrease in rainfall in Dassa-Zoumè (-2.77 %), Ouèssè (-7.17 %), Savalou (-1.87 %), Savè (-3.14 %) and an increase in Bantè (+4.80 %). The climatic indices calculated were not in line with the cashew tree preferences. At the 95 % threshold, mutiple linear regression showed that the share of variance explained by wind speed and relative humidity in nut production is higher than that of the other parameters, which is very low.*

Keywords: *Collines (Benin), Climatic Constraints, cashew nuts, adaptation strategy.*

Introduction

Durant ces dernières années, il est sans nul doute admis que le système climatique mondial est sujet à des changements (GIEC, 2014, p. 2). En Afrique, les conditions atmosphériques sont devenues fortement variables et imprévisibles, et fragilisent les systèmes agricoles qui ne répondent plus face aux pressions actuelles (R. N. Yegbemey *et al.*, 2014, p. 2).

I. Yabi et F. Afouda, (2012, p.11) ont d'ailleurs montré que le secteur agricole béninois est confronté à de nombreuses contraintes dont la forte variabilité climatique. Ces perturbations saisonnières enregistrées au Bénin depuis plusieurs décennies exercent des influences sur la production agricole en général et sur les plantations d'anacardier en particulier (D. O. Bello *et al.,* 2016, p. 222).

Au Bénin, la filière anacarde est une alternative économique intéressante qui représente le deuxième produit d'exportation du pays après le coton, mais se trouve être confrontée aux variabilités climatiques (J. Aïvodji et A. Anasside, 2009, p. 8). L'importance de l'anacarde n'est

plus donc à démontrer pour le Bénin, vu son utilité et la valeur économique des produits issus de sa transformation (D. P. Sognon *et al.,* 2022, p. 706).

Cette étude vise à mieux apprécier le poids des contraintes climatiques dans l'explication des difficultés que rencontre la filière anacarde dans le département des collines, berceau de la production des noix d'anacardier au Bénin.

1. Données et méthodes

Les hauteurs pluviométriques des stations météorologiques de Savalou, Dassa zoumè, Bantè, Ouessè, Savè les températures, l'humidité relative, l'insolation, la vitesse du vent et l'ETP de la station synoptique de Save ont été privilégiés. Ces données ont été fournies par l'Agence Nationale de la Météorologie (METEO BENIN) sur la période de 1961 à 2020. Ces données climatiques collectées ont été utilisées pour caractériser les contraintes climatiques et de calculer les indices d'écart à la valeur minimale (Emin) et de stress agroclimatique (ISA). De plus, les statistiques de la production des noix d'anacardier ont été recueillies à la Direction des Statisques Agricoles sur la période de 2010 à 2020. Ces données ont servi à des fins de recherche de dépendance entre le climat et la production des noix d'anacardier.

2. Résultat

2.1. Caractéristiques climatiques du département des Collines

Les pluies moyennes mensuelles de la période de 1961-2020, montrent que le département des collines reçoit une très faible quantité de pluie entre novembre (entre 8,08 mm et 13,13 mm) et février (entre 10,64 mm et 21,60 mm). Cette période correspond à la période sèche dans le département qui bénéficie d'une pluviométrie moyenne de 38,02 mm. Au cours de cette période, les jeunes plans d'anacarde fleurissent déjà à partir de fin novembre et donnent les noix de cajou déjà en décembre. Les précipitations sont plus importantes de mai à octobre mais sont inégalement réparties de juillet à septembre où 46,52 % des hauteurs d'eau annuelles sont déversées sur le département. Au cours de cette période, un contraste pluviométrique s'observe notamment en août et septembre.

En effet, en août, les localités du Sud (Dassa-Zoumè) et du Sud-Est (Savè) reçoivent des précipitations comprises entre 166,99 mm et 167,47 mm. Pendant ce mois, les pluies varient entre 140,35 mm et 208,75 mm dans les localités du Nord (Bantè et Ouessè) et du Sud-Ouest (Savalou). En septembre, les localités de Dassa-Zoumè, Glazoué, Savè et Savalou situées au sud encaissent entre 168,89 mm et 183,84 mm. Au Nord, les pluies varient entre 164,46 mm et 193,42 mm. Cependant, la quantité d'eau moyenne disponible au cours de la période pluvieuse (avril-octobre) évaluée à 1023,74 mm est importante pour couvrir les besoins en eau pour l'anacarde dans le département des Collines, car le besoin pluviométrique idéale à l'anacardier s'élève à 1000 mm selon I. Yabi (2010, p. 147).

La figure 1 présente les isohyètes moyennes annuelles de la série 1961-2020 dans le département des Collines.

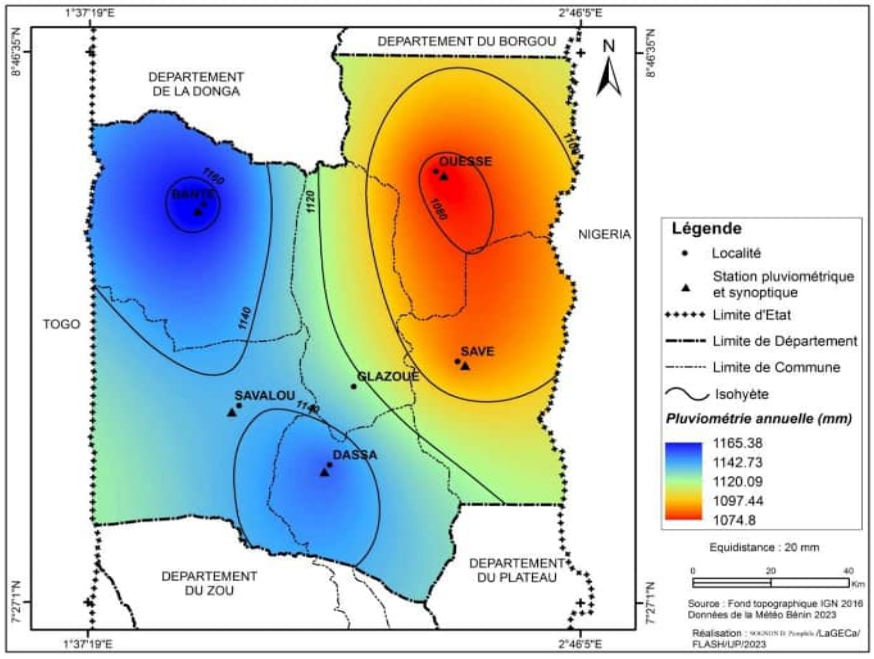


Figure 1 : Isohyètes moyennes annuelles de la série 1961-2020 dans le département des Collines

Les précipitations moyennes annuelles dans le département varient entre 1074,68 ±226,54 mm et 1165,52 ±231,11 mm. Elles diminuent légèrement à l'Est et augmentent à l'Ouest dans le département des collines sur la période de 1961-2020. Suivant le gradient Est-Ouest, la répartition des isohyètes montre que, les localités de Bantè et de Savalou situées à l'Ouest et de Dassa-Zoumè située au Sud avec des hauteurs d'eau moyennes comprises entre 1138,39 ±224,54 mm et 1165,52 ±231,11 mm, sont plus arrosées que celles de l'Est (Ouèssè, Glazoué et Savè) dont les précipitations varient de 1074,68 ±226,54 mm à 1084,76 ±235 mm. En conclusion, les valeurs moyennes des précipitations annuelles enregistrées (1074,68 ±226,54 mm et 1165,52 ±231,11 mm) présentent des conditions pluviométriques normales pour la production des noix d'anacarde dans le département au regard des exigences pluviométriques (1000 - 1600 mm) de l'anacardier. Le tableau 1 présente la variation des précipitations du département des Collines de 1961 à 2020.

Tableau 1. Variation des précipitations du département des Collines de 1961 à 2020

Stations	**Période de rupture**	**Moyenne (mm)**	**Ecart-type**	**Seuil tolérable** [-1 et 1]		**Taux de variation**
				Surplus	**Déficit**	
Bantè	1961-1983	1128,03	231,48	0,13	-0,18	+4,80
	1984-2020	1182,21	234,77			
Dassa-Zoumè	1961-1988	1165,83	287,97	0,16	-0,1	-2,77
	1989-2020	1133,49	214,93			
Ouessè	1961-1973	1136,08	248,37	0,11	-0,1	-7,17
	1974-2020	1054,60	219,80			
Savalou	1961-1991	1148,60	250,39	0,13	-0,13	-1,87
	1992-2020	1127,10	201,54			
Savè	1961-1990	1103,10	279,68	0,11	-0,08	-3,14
	1991-2020	1068,42	188,19			

L'analyse du tableau 1 présente les caractéristiques climatiques de la pluviométrie dans le département des Collines au cours de la période de 1961-2020 et son impact sur la production d'anacarde. En effet, plus l'année est sèche, plus la production d'anacarde est confrontée aux effets des déficits pluviométriques. Plus l'année est humide, plus la production d'anacarde est confrontée aux excès pluviométriques. Les valeurs pluviométriques enregistrées n'équivalent

donc pas aux seuils acceptables par l'anacardier car le seuil minimum n'est pas souvent atteint et le seuil maximal est souvent dépassé. Dans ces conditions le facteur pluviométrique constitue un facteur limitant pour la production des noix d'anacardier. Par ailleurs, le taux de variation des précipitations montre une baisse des précipitations au niveau des stations de Dassa-Zoumè (-2,77 %), de Ouessè (-7,17 %), de Savalou (-1,87 %) et de Savè (-3,14 %). A la station de Bantè (+4,80 %), il s'observe une augmentation de la pluviométrie. Cette variation à la fois à la baisse et à la hausse influencerait la production de l'anacarde dans le secteur d'étude.

En ce qui concerne les températures moyennes elles varient entre 25,25 °C en août et 30,08 °C en mars. La température moyenne s'élève de 28,20 °C en décembre à 30,08 °C en mars pendant la saison sèche. Or, la floraison et la fructification qui constituent des phases phénologiques déterminantes pour la productivité de l'anacardier, ont lieu au cours de cette période. Selon Yabi *et al.*, (2010, p. 148), une température moyenne mensuelle comprise entre 12 et 32 °C, constitue la norme thermométrique idéale de l'anacardier. Les valeurs thermiques enregistrées correspondent donc aux limites acceptables par l'anacardier.

L'humidité relative mensuelle de l'air présente des valeurs très variables. Une humidité relative moyenne mensuelle comprise entre 65 et 80 % constitue la condition hygrométrique idéale pour l'anacardier. L'humidité relative moyenne mensuelle est comprise entre 53,78 et 81 %. La période d'avril à octobre où l'humidité relative moyenne varie entre 70 à 81 % est la plus humide. Celle sèche va de décembre à mars où les valeurs hygrométriques varient entre 53,78 % et 63,28 %. En effet, le seuil minimum mensuel n'est pas atteint (53,78 % au lieu de 65 %). Or, la phase de reproduction (floraison/fructification) de l'anacardier intervient pendant la période sèche. Ainsi, les trop faibles taux d'humidité de l'air pourraient entrainer la chute des fleurs et des fruits immatures. Dans ces conditions le facteur hygrométrique constitue un facteur limitant pour la production des noix d'anacardier dans la zone d'étude.

L'insolation quant à elle, est plus élevée durant la période de novembre à mai et varie entre 216 et 229 heures par mois, soit 7 à 8 heures par jour correspondant à la période de développement reproductif, de floraison et de fructification de l'anacardier. Les faibles valeurs de l'insolation sont enregistrées de mi-juin à octobre avec 94 à 186 heures par mois, soit 3 à 6 heures par jour et correspondent à la phase de développement végétatif de l'anacardier. Or selon O. Mendes (2007, p. 40), il faut une insolation moyenne comprise entre 5 et 6 heures par jour pendant la phase végétative de l'anacarde et une insolation moyenne comprise entre 7 à 9 heures par jour pendant la phase reproductive de l'anacarde. Cependant, le seuil minimal n'est pas atteint, 3 heures au lieu de 5 heures pendant la phase reproductive.

En effet, les vents les plus violents enregistrés en 1961 (2,05 m/s) et 1986 (1,96 m/s) dans le département des Collines. En effet, les valeurs enregistrées sont inférieures à cette valeur seuil maximal. Ainsi, le vent ne constitue donc pas un facteur astreignant la production des noix d'anacardier. Par ailleurs, pendant les mois de décembre, janvier et février, le régime des vents de secteur Est ou Nord-Est impose un type de temps particulier : l'harmattan qui constitue une contrainte à la production des noix de cajou lorsqu'il s'installe sur une longue durée selon 74 % des enquêtés. Aussi, 61 % des producteurs affirment que les fortes vitesses de vent entrainent la chute des fleurs, des fruits immatures et même la destruction de la cime de l'anacardier.

2.2. Implication des contraintes climatiques sur la production des noix d'anacardier

Sur toute la région d'étude, les diverses valeurs de l'indice de l'écart à la valeur minimale sur la série 1961-2020 montre trois catégories d'années. Les années pour lesquelles l'écart à la valeur minimale est globalement négatif, les années déficitaires par endroits seulement et enfin les années pour lesquelles il est globalement positif sur toute la région. L'existence des années où l'écart minimal est négatif traduit qu'au cours de la période d'étude le besoin minimum pluviométrique pour une bonne production des noix d'anacardier n'a pas été satisfait. En

dehors de la station de Bantè, la fréquence des années de déficit pluviométrique a montré des successions d'années déficitaires à Ouèssè, à Dassa-Zoumè, à Savalou et à Savè. Au cours de ces années, l'anacardier a enduré des stress hydriques durant deux, voire trois années successives, ce qui amplifie le risque de fragilisation et peut affaiblir son rendement dans le temps. L'analyse spatiale des évènements extrêmes a permis de montrer une discontinuité pluviométrique caractérisée par une tendance générale des hausses et des baisses pluviométriques dans le département des collines. La spatialisation de la fréquence des années déficitaires révèle que suivant le gradient Est-Ouest, la répartition des isohyètes montre que les localités de Bantè (13/60) et Savalou (20/60) situées à l'Ouest et de Dassa-Zoumè (19/60) située au Sud ont été moins affectées. En effet, les déficits ont été très remarquables dans les secteurs du Nord-Est et du Sud-Est (localités de Ouessè et de Savè) que dans les secteurs du Nord-Ouest et du Sud-Ouest. Les localités situées au centre du département des Collines s'illustrent par des déficits moyens de 17 à 20 % du total des années. La zone du Nord-Ouest reçoit le nombre d'années déficitaires les plus faibles sur l'ensemble de département avec environ 13-14 % du total des années. Cette inégale répartition des déficits pluviométriques affectent considérablement les rendements des noix d'anacarde dans le département des collines.

Par ailleurs, le calcul de l'indice de stress agro-climatologique (ISA) présente une tendance à la hausse suivant un taux de 0,11 % /an ; 0,16 % /an ; 0,12 % /an ; 0,19 % /an ; 0,14 % /an respectivement à Ouèssè, Bantè, Dassa-Zoumè, Savalou et Savè. L'importance de ce facteur peut s'expliquer par le fait que sa détermination prend en compte non seulement les paramètres climatiques (pluviométrie, ETP) mais aussi les paramètres pédologiques (I. Yabi, 2008, p. 161). Les valeurs de l'indice de stress agroclimatique sont entre 0 % et 57,55 % dans le département des Collines. Or lorsque sa valeur est proche de 100 (ETR = 0), les conditions sont plutôt défavorables à la satisfaction hydrique de la plante (Yabi, 2008, p. 51). Les valeurs les plus élevées de l'indice de stress agroclimatique pour chaque station sont de 42,72 % (Bantè) ; 57,55 % (Dassa-Zoumè) ; 54,42 % (Ouèssè) ; 36,57 % (Savalou) et 51,14 % (Savè). Ces valeurs, relativement élevées, sont peu favorables à une bonne production des noix d'anacardier. Cela traduit que les besoins en eau de l'anacarde sont de plus en plus insatisfaits.

2.3. Dépendance entre les paramètres climatiques et la production de noix d'anacardier

La régression linéaire multiple, a permis de mieux expliquer les variables qui ont un effet significatif sur la production (Tab 2).

Tableau 2. Synthèse de la régression linéaire multiple entre les facteurs climatiques et la production de noix d'anacarde

-	Pluie moyenne	Vitesse du vent	Température	Humidité relative	Insolation
R²	0,00968515	0,508778191	0,011120473	0,3035126	0,08109821
R	0,098	0,71	0,10	0,54	0,28
F	80,949058 1	229,335059 2	107,4070923	76,70027314	104,69469
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Significativité (p-values)	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

L'examen des résultats du tableau permet de constater que la liaison statistique entre tous les paramètres climatiques et la production des noix d'anacardier est significative ($p< 0,0001$) au seuil de 95 %. En effet, bien que, tous les paramètres climatiques présentent une liaison statistique significative avec la production d'anacardier, la part de la variance expliquée par la pluie, la température et l'insolation reste très faible. Cette faiblesse de la part de variance pour ces trois paramètres climatiques, montre que le climat n'est pas le seul déterminant dans la

production des noix d'anacarde. Cependant, l'humidité relative et la vitesse du vent présentent des résultats plus pertinents. Le coefficient de détermination (R^2) relativement élevé de 0,3035 pour l'humidité relative, justifie que 30,35 % de la variance de la production d'anacardier est expliquée par les variations de l'humidité relative. Bien que cette relation soit statistiquement significative, elle indique que la majorité de la variance de la production est due à d'autres facteurs. De même, la vitesse du vent est un prédicteur significatif de la production des noix d'anacardier. Le R^2 de 0,5088 indique que 50,88 % de la variance de la production d'anacardier est expliquée par les variations de la vitesse du vent. Cela suggère que la vitesse du vent exerce une influence plus déterminante sur la production d'anacardier par rapport à l'humidité relative.

Conclusion

Le climat a varié dans le temps et dans l'espace. Cette variabilité du climat présente des contraintes pour la production des noix d'anacarde. Mais plusieurs facteurs non climatiques impactent aussi la production des noix d'anacardier dans le département des Collines.

Bibliographie

Anasside A, Aivodji j., 2009 : *Elaboration des règles de soutien et de stabilisation des prix pour la filière anacarde*. Rapport detude. ONS/PASREA, 78 pages.

Bello D., Assogbadjo A. et Houehanou T., 2016 : Perception paysanne des effets du changement climatique sur la production des noix d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans la commune de Savalou au Bénin, 220-239.

GIEC., 2014 : *Changement climatique : incidence, adaptation et vulnérabilité,* 40 pages.

Sognon D.P., Totin Vodounon S. H, Assongba Y.F, Yabi I. et Houndenou C, Vulnérabilité de la production des noix d'anacarde a la variabilité climatique dans la commune de Glazoué, *Revue scientifique MIRD*, Volume **8**, Numéro spéciale, Janvier, 2022 : pp 705-717

Yabi I. et Afouda F., 2012: Extreme rainfall years in Benin (West Arica), *quartenary international* 262, **7**: 39-43.

Yegbemey R.N., Yabi J.A., Aïhounton B. et Paraïso A., 2014 : Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique : cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest), *Cah Agric*, **8**, 177-188..

CLASSIFICATION TRADITIONNELLE ET IMPORTANCE DU VENT CHEZ LES BAATƆMBU (NORD BENIN)

Adamou TAIROU [1] ; Imorou OUOROU BARRE FOUSSENI[2]

[1]Laboratoire de Climatologie et EthnoClimatologie de l'Université de Parakou (Labo ClimET-UP), tairouadamou1@gmail.com ; Contact : +2290195397176 ;

[2]Faculté d'Agronomie de l'Université de Parakou, oubarre@yahoo.fr ; Contact : +2290161966 474 ;

***Résumé** : Cette étude analyse la perception et les classifications traditionnelles du vent dans la culture baatɔnu au nord du Bénin. Une enquête qualitative a été menée auprès de soixante détenteurs de savoirs traditionnels, sélectionnés par échantillonnage raisonné. Les données ont été collectées par entretiens individuels et focus groups, puis analysées à l'aide de la méthode ECCAPP (Bokonon-Ganta, 2014). Il en ressort une diversité de vents catégorisés en trois (03), sans oublier les proverbes liés au vent. L'étude met en lumière la richesse de ces savoirs endogènes, utiles dans le contexte des stratégies d'adaptation locale aux changements climatiques.*

***Mots-Clés** : importance, classification traditionnelle, vent, baatɔmbu*

***Abstract: Traditional classification and importance of the wind among the baatɔmbu (Northern Benin).** This study analyzes the importance and traditional classifications of wind in the Baatɔnu culture in northern Benin. A qualitative survey was conducted among sixty traditional knowledge holders, selected through purposive sampling. Data were collected through individual interviews and focus groups, then analyzed using the ECCAPP method (Bokonon-Ganta, 2014). The results revealed a diversity of winds categorized into three (03), not forgetting proverbs related to the wind. The study highlights the richness of this endogenous knowledge, useful in the context of local adaptation strategies to climate change.*

***Key words :** importance, traditional classification, wind, Baatɔmbu*

Introduction

Au cours de ces dernières décennies, la question des savoirs traditionnels en matière de l'environnement et du climat n'est plus à démontrer, grâce aux multiples recherches scientifiques effrénées au sein de la communauté scientifique. Ces savoirs des communautés locales étant qualitatifs, rattachés à des localités ou à des cultures précises, et témoignant d'une longue histoire d'interaction avec leur environnement naturel (Nkoudou, 2015 ; Elisabeth et *al.*, 2023), il est alors important de chercher à comprendre la perception du vent selon les Baatɔmbu, un peuple majoritaire au nord du Bénin (figure 1).

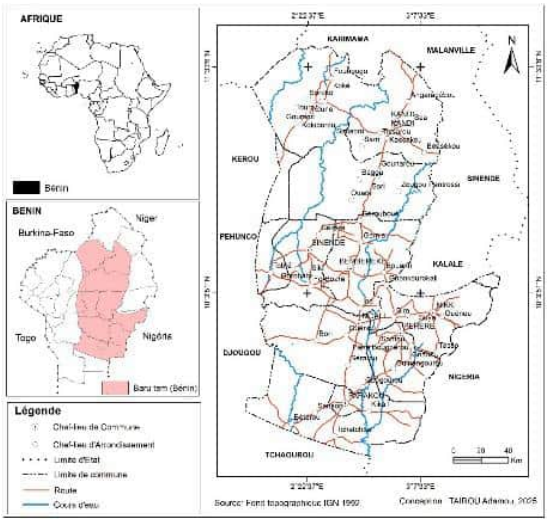


Figure 1. Carte de la région occupée par le peuple baatɔnu au nord du Bénin (baru tem)

Source : Traitement des données, 2025

1. Méthode

Les travaux de terrain ont nécessité l'usage d'un questionnaire semi structuré adressé à la population cible et un Smartphone pour l'enregistrement des entretiens. La population cible a été identifiée par un échantionnage à choix raisonné, afin d'assurer une diversité d'opinions. L'étude étant de nature qualitative, le choix de 60 personnes s'est fait selon le principe de saturation des données : au-delà de ce nombre, les discours devenaient redondants, ce qui a permis de privilégier la profondeur des entretiens sur la quantité. Parmi les critères définis à remplir (au moins 04) pour être enquêté, il faut signaler :

- être un sachant de la culture endogène dans la société baatɔnu,
- avoir une expérience avérée d'au moins 30 ans dans le domaine de l'agriculture,
- avoir une bonne maitrise de la langue baatɔnum,
- être un chef de ménage,
- être un tradi-praticien,
- être un adepte ou chef de l'un des cultes traditionnels en milieu baatɔnu

Les informations recueillies ont été analysées par la méthode d'Evaluation des Croyances, Connaissances, attitudes et Pratiques Populaires (ECCAPP) de Bokonon-Ganta (2014). Elles sont ensuite manipulées par le Tableur Excel, ce qui a permis de comprendre l'importance et les principaux types de vents selon la perception des Baatɔmbu (figure 2).

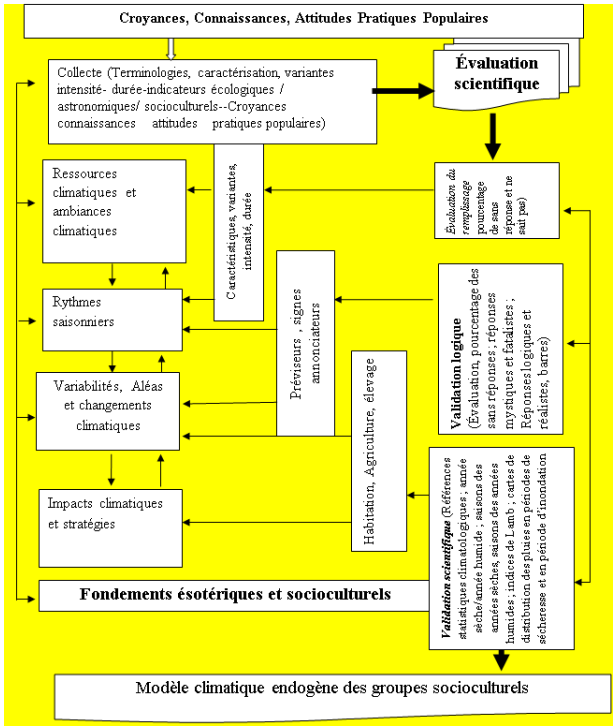


Figure 2. Canevas de la méthodologie ECCAPP

Source : Bokonon-Ganta, 2014

2. Résultats et discussions :

Le traitement des données a permis d'avoir une perception concernant la classification traditionnelle des vents et leur importance selon la perception du groupe socioculturel baatɔnu.

2.1. Catégories de vents

Pour les Baatɔmbu, il existe trois (03) catégories de vents : les vents ordinaires ou simples, les vents liés aux forces occultes et l'allégorie des «*vents de bonheur* » ou «*vents de malheur* ».

2.1.1. Vents ordinaires ou simples :

Il s'agit des vents relevant de l'environnement immédiat, perçus par leurs caractéristiques (vitesse, direction, effets environnementaux,). Parmi ces vents, figurent :

- **Le woo duma :** Vent cheval/vent cavalier

Le "vent cheval" désigne un vent rapide apparaissant dans deux contextes : durant les canicules (à ne pas confondre avec le "yam susu woo", vent chaud et sec) et avant les pluies. Ce phénomène météorologique traditionnel est précédé d'un calme atmosphérique ("gura ya woo bɔkuwaa") où la pluie semble retenir le vent, comme l'exprime le proverbe baatɔnu : "Quand les nuages pluvieux se forment, même sans pluie, le vent viendra".

D'une grande puissance, ce vent peut causer des dégâts importants (arrachage d'arbres, destruction d'habitations). Il trouve aussi son origine dans les rituels de purification des retenues d'eau avant la pêche collective, où il sert à protéger les pêcheurs des dangers aquatiques..

- **Le puru woo :** vent d'harmattan

Ce type de vent souffle pendant la saison sèche (entre janvier et février). Il est très frais la nuit, léger ou sec (puis qu'il ne contient pas de l'eau) et chaud le jour. Son caractère frais étant parfois insupportable, il occasionne le décès de la plupart des personnes en âge avancé (vieillards). Il provoque également la fente des pieds, l'assèchement de la peau et du visage, entrainant une certaine blancheur de ces parties, ce qui rend parfois laids, les hommes qui n'aiment pas vraiment prendre soin d'eux en faisant usage du beurre de karité ou de la pommade.

- **Le dãa bɛ̃ra woo :** vent qui favorise la floraison et la maturité des fruits

Ce vent marque une transition entre le vent d'harmattan et celui de la chaleur accablante (canicule). C'est un vent qui souffle après le vent de la période d'harmattan (dans le mois de mars), donc succède au vent d'harmattan. Il n'est ni trop chaud, ni trop frais. C'est ce caractère qui lui permet de favoriser la floraison et la maturité des fruits. Lorsque le vent d'harmattan se prolonge, cela empêche l'arrivée de ce type de vent, ce qui fait que les arbres n'arrivent pas à produire normalement comme cela se doit.

- **Le woo sumu/yam susu woo :** vent chaud/vent de canicule

Ce type de vent s'observe généralement en temps de chaleur accablante (entre avril et mai). Lorsque ce vent souffle, même en étant sous l'ombre, la chaleur de ce vent est ressentie et devient insupportable. Dans d'autres contextes, le terme « woo sumu » désigne aussi une situation de la vie difficile, compliquée et à laquelle l'homme est confronté (famine, pauvreté chronique…).

- **Le gùm kòkoro woo/gum bua woo :** vent qui favorise l'éclatement des fruits du kapokier/fromager (*Ceiba pentandra*)

Ce vent durant tout un mois, il occasionne l'éclatement des fruits du kapokier/fromager (*Ceiba pentandra*). Pour Cha-Toko N. N'G. (2020), c'est le mois où le kapokier s'ouvre et libère ses grains et fibres qui vont et viennent à la volonté du vent (entre fin mai et juin). Etant donné que ce vent dure tout un mois, les Baatɔmbu ont attribué ce vent comme nom au septième (7e) mois de l'année selon le calendrier traditionnel baatɔnu pour indiquer qu'il s'agit du mois correspondant à la période du vent appelé « ***Gùm kòkoro woo/gum bua woo*** »

- **Le guru woo :** vent de pluie

Généralement, c'est le vent qui souffle en saison pluvieuse pendant qu'il pleut ou même tout juste après la pluie. Ce vent souffle aussi parfois lorsqu'une pluie fait son passage ailleurs, pour signaler que la pluie est tombée quelque part. Il est reconnu par une odeur particulière lorsqu'il souffle. C'est un vent frais, lourd (car il est sensé contenir de l'eau).

Pour d'autres, ce vent se dirige vers les nuages porteurs de pluie déjà formés (prêts) pour pleuvoir avant qu'il ne pleuve.

- **Le woo guna :** Tourbillon

Le tourbillon apparaît généralement en fin de saison sèche (mars-avril), lors de la transition vers la saison pluvieuse. Ce phénomène résulte de la rencontre des vents de direction opposée (ouest-est en saison sèche et est-ouest en saison pluvieuse), créant une "collision" appelée "*woo yinnɔ*".

Sur le plan spirituel, son passage peut annoncer une bonne nouvelle (naissance, visite) ou une mauvaise (décès, accident). Selon les croyances, ce vent serait habité par des djins bienveillants ou malveillants. Dans ce dernier cas, il pourrait provoquer des troubles mentaux chez ceux qu'il frappe, nécessitant l'intervention d'un tradipraticien. Les initiés peuvent percevoir ces entités, mais cette vision requiert courage et préparation, sous peine de perdre soi-même la raison.

- **Le woo bɔkɔ :** Vent violent/tempête

Ce vent violent accompagne les pluies saisonnières, marquant le début (mai-juin) et la fin (octobre-novembre) de la saison des pluies. Il provoque d'importants dégâts : arrachage de branches, déracinement d'arbres, destruction de toitures et de cultures. Comme l'ont observé L.D. Dougnon et al. (2017), certains animaux comme les chats et chiens perçoivent son arrivée.

Les Baatɔmbu ont développé une connaissance fine de ces vents, transmise oralement à travers les générations. Cette expertise locale rejoint les conclusions d'Expédit Wilfrid V. (2016) sur l'importance des savoirs traditionnels dans la perception climatique en Afrique subsaharienne.

Plusieurs études (Roué, 2012 ; Tubiana, 2005 ; Justin K.K. et Alphonse M.M.N., 2017) confirment que depuis 1980, les connaissances locales sont progressivement intégrées dans les débats internationaux sur l'environnement, soulignant la nécessité d'articuler savoirs endogènes et scientifiques pour le développement africain.

2.1.2. Vents liés aux forces occultes

Dans cette catégorie, il s'agit des vents du domaine spirituel des cultes traditionnels. A titre d'exemples, il faut noter :

- **Le woo duma :** vent cheval/vent cavalier

Comme au niveau des vents ordinaires, en principe ce vent tire son origine des rituels traditionnels qui se font au niveau de certaines retenues d'eau avant d'effectuer la pêche traditionnelle en groupe. Ces rituels se font spirituellement au moyen du « vent cheval » dans l'intention de purifier la retenue d'eau, d'avoir son accès favorable et de protéger les pêcheurs de toute espèce aquatique dangereuse afin que la pêche se passe en toute tranquillité.

- **Tuwi woo :** vent de poussière

Il s'agit du nom relatif au vent d'un adepte du culte traditionnel. Son éloge est le suivant : «***Tuwi woo wure, yaa yaa, tuwi woo, yaa yaa*****, . . .** ». Avec cet éloge, l'adepte fait sentir sa présence par la manifestation du vent accompagné de poussière, une fois entré en transe.

2.1.3. Allégorie des « vents de bonheur » ou « vents de malheur »

Les Baatɔmbu considèrent ces vents comme des manifestations divines échappant au contrôle humain. Le vent de bonheur appelé "woo duro" ou "woo geu" apporte des événements heureux comme trouver de l'argent perdu ou recevoir une visite inattendue porteuse de bonnes nouvelles.

À l'opposé, le vent de malheur nommé "woo kɔ̃su" ou "woo sumu" représente les coups du sort tels que les vols, les pertes d'argent ou l'annonce de mauvaises nouvelles. Cette conception métaphorique du vent illustre la vision baatɔnu des aléas de la vie, où les joies et les peines surviennent de manière imprévisible comme des souffles célestes.

2.2. Importance du vent

Sur les 60 personnes enquêtées, 85 % affirment que le vent est d'une importance capitale pour tout être vivant. Sans lui, aucune vie ne peut être possible sur terre. Le vent sert pour plusieurs usages (séchage, vannage, au cours de la chasse des grands chasseurs…). Plusieurs témoignages confirment l'importance du vent. De ces différents témoignages, il faut signaler que les Baatɔmbu ont une connaissance en matière du vent sur la base des savoirs traditionnels transmis de génération en génération et aussi à travers les expériences et faits quotidiens vécus de la nature à travers le temps et l'environnement immédiat.

Ces résultats confirment ceux de Nkoudou (2015) ; de Elisabeth et *al.* (2023) selon qui, les savoirs qualitatifs des communautés locales sont rattachés à des localités ou à des cultures précises, et témoignant d'une longue histoire d'interaction avec leur environnement naturel. Pour Élisabeth A. et *al.* (2023), les populations des pays francophones des Suds disposent d'un capital important d'expériences, de savoirs et de connaissances pour s'adapter à leur environnement. Pour une réponse durable aux changements climatiques, il est donc nécessaire de comprendre les vulnérabilités et les stratégies de résilience des communautés locales, et de valoriser leurs savoirs.

2.3. Quelques proverbes liés au vent :

✓ ***Woo gè ga na a ka birakɔ dɔba, gen kpɔɔ gà n na, kaa wɔɔnu bwɛ̃ (pota) :*** Lorsqu'un vent ou un évènement quelconque te favorise un bien occasionnel et mal acquis, alors prépare-toi à la perte ou à la disparition occasionnelle de ce bien, lorsque le même type de vent ou d'évènement fera son réapparition.

✓ ***Woo ka gen dam, ga ǹ kpɛ̃ gu tũburu wuka :*** Malgré la force du vent, il n'a aucune puissance sur la termitière.

✓ ***Woowa ga kĩ, ma dãra yɔ̃ :*** C'est bien avec la volonté du vent que l'arbre se tient debout.

✓ ***Woo gà n kua, ba koo guan purɔru wa :*** Lorsque le vent souffle, l'anus du poulet sera forcément découvert.

✓ ***Yè gbera dɔ̃ɔ mwa ta kpa, ma ta da ta ka woo sannamɔ, nɔmu gè ga màa dɔ̃ɔ sura ni ? :*** Si après que tout le contenu du champ soit pari en fumée qu'il va s'en prendre au vent, qu'en dira-t-on alors de la main qui a causé l'incendie ?

✓ ***Buruku dirum mu ku ra woo kanɛ, domi mu yɛ̃ mè sɔ̃ɔ u koo yarima :*** La rosée matinale ne s'enorgueillit pas, ne se vante pas, car elle est consciente de son évaporation avec l'apparition du soleil dans les heures qui vont suivre.

Il faut noter que ces différents proverbes portent en eux, une leçon de moral, de sagesse, de savoir-faire et de savoir vivre. Ils constituent un pilier indispensable pour la promotion de l'éducation et de la culture en pays baatɔnu et le moyen de transmission orale des savoirs traditionnels de génération en génération.

Pour Lucien Kouamé K. (2023), le proverbe africain est un canal de transmission des règles de bienséance et regroupe un ensemble de règles de savoir-vivre. Angèle K. B. et Aurélien A. (éds.), (2015) soulignent aussi que les proverbes sont depuis très longtemps utilisés dans nos langues locales pour illustrer des faits, des réalités, pour éduquer, donner une leçon, etc.

Conclusion

Tout comme les sciences modernes/exactes, la notion du vent est aussi bien perçue et gérée en milieu baatɔnu selon leurs savoirs traditionnels depuis la nuit des temps jusqu'à nos jours. Ainsi, les vents sont catégorisés en trois (03) : celle des ordinaires ou simples, celle de ceux liés aux forces occultes et celle de ceux du « *bonheur et de malheur* » en terme d'allégorie. Cette notion du vent telle que perçue par ces Baatɔmbu leur permet de s'adapter aux effets néfastes de ces vents au niveau habitationnel ou agricole. Ces savoirs indispensables pour une adaptation locale aux changements climatiques, se transmettant oralement de génération en génération s'avèrent nécessaires pour leur transcription, afin d'éviter leur altération et d'assurer leur conservation pour les générations futures.

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à :

1. Narou N'Gobi Cha-Toko, Professeur certifié de Lettres Modernes à la retraite
2. Chabi Boko Abdoulaye, chroniqueur culturel baatɔnu à Gbégourou
3. Dramane Salifou Abdou Samiou, forgeron et producteur à Nikki
4. Moussa Soulé, géographe spécialisé en intermédiation sociale
5. Oumorou Adoulaye Idrissou, producteur à Parakou
6. Orou Gani Karim et Gounou Yarou Koto Sanni, producteurs à Sèré Kali

Nos remerciements s'adressent également à l'ensemble du Laboratoire de Climatologie et EthnoClimatologie de l'Université de Parakou pour leur précieux soutien.

Bibliographie

Angèle K. B., Aurélien A. (éds.), 2015 : Proverbes du Bénin : Sagesse éthique appliquée de proverbes africains, 133p

Bokonon-Ganta B. E., 2014 : Evaluation des Croyances, Connaissances, Attitudes et Pratiques Populaires (ECCAPP) ; Modèle climatique endogène des groupes socioculturels ; Laboratoire de Climatologie et EthnoClimatologie Tropicales de l'Université de Parakou (Labo ClimET-UP) ; poster

Cha-Toko N. N'G., 2020 : Les signes et les humeurs du temps en pays baatɔnu. Editions NOUVELLES RACINES ; 288p

Élisabeth A., Félicité A., Claire D. et Valentina D., 2023 : Les savoirs endogènes et locaux au service de l'adaptation aux changements climatiques; *Le Climatoscope*, pp. 146 – 150

Expédit Wilfrid V., 2016 : Variabilité climatique et savoirs endogènes en pays Torri dans la commune de Akpro-Misserete ; *European Scientific Journal ; édition vol.12, No. 29 ISSN*, 1857 – 7881

Justin K. K. et Alphonse M. M. N., 2017: Pratiques traditionnelles de conservation de la nature à l'épreuve des faits chez les peuples riverains de la réserve de biosphère de Yangambi (RDC), European Scientific Journal March 2017 edition vol.13, No.8 ISSN, 1857 – 7881

Luc Dossou D., Expédit Wilfrid V. et Marc S., 2017 : Connaissances endogènes des phénomènes pluvio-hydrologiques en milieu fon dans la commune de Djidja, Bénin, Afrique de l'ouest ; *Afrique SCIENCE*, 188 – 196

Lucien Kouamé K., 2023 : Le proverbe africain au service de l'éducation du citoyen moderne, Université Alassane Ouattara (Côte d'Ivoire), *Les Cahiers du LABERLIF* pp. 57 - 68

VULNERABILITE DES CHAMPS DE CASE A LA VARIABILITE CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE D'AGBANGNIZOUN AU BENIN

Cyrille TCHAKPA [1, 2], Waïdi SEYDOU[1], Coffi Adrien DOSSOU-YOVO [1]

(1) Laboratoire Pierre Pagney: Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi Bénin / 041 BP 175 Cotonou (Rép. Bénin) cyrille.tchakpa@gmail.com ; waidosy1@yahoo.fr ; dosadrien@yahoofr

(2) Ecole Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies Appliquées (ENSBBA) /UNSTIM / Bénin / *Laboratoire des Génétiques, Biotechnologies et Botaniques appliquées (GEBBA)*

Résumé : *La présente recherche vise à analyser la vulnérabilité des champs de case à la variabilité climatique dans la Commune d'Agbangnizoun au Bénin. L'approche méthodologique adoptée repose sur la recherche documentaire, les travaux de terrain réalisés suivant un échantillon de 340 enquêtés et le traitement des données. Les résultats indiquent que les producteurs (100 %) ont observé sur la période 1961-2023 des perturbations climatiques (réduction de la pluviométrique et augmentation de la température). Ces situations climatiques préjudiciables aux champs de case ont des impacts sur 100 % des producteurs. Elles entrainent une augmentation du stress hydrique (de 5,94 % à 6,23 %) et thermique (1° C) au niveau des plantes et ont pour conséquences, une baisse (34 %) des rendements des principales cultures (maïs, niébé, tomate et gombo). Face à ces situations, les producteurs ont développé des stratégies d'adaptation. Il s'agit, entre autres, des cultures en billon (83 %) et l'utilisation des variétés à cycle court pour les cultures (80 %).*

Mots clés *: Agbangnizoun, variabilité climatique, vulnérabilité et champs de case.*

Abstract : Vulnerability of case fields to climate variability in the commune of Agbangnizoun in Benin. *This research aims to analyze the vulnerability of hut fields to climate variability in the Agbangnizoun Commune in Benin. The methodological approach adopted is based on documentary research, fieldwork carried out on a sample of 340 respondents and data processing. The results indicate that producers (100%) observed climatic disturbances (reduction in rainfall and increase in temperature) over the period 1961-2023. These climatic situations, which are detrimental to hut fields, have impacts on 100% of producers. They lead to an increase in water stress (from 5.94% to 6.23%) and thermal stress (1°C) at the plant level and result in a decrease (34%) in the yields of the main crops (maize, cowpea, tomato and okra). Faced with these situations, producers have developed adaptation strategies. These include, among others, ridge crops (83%) and the use of short-cycle varieties for crops (80%).*

Keywords : *Agbangnizoun, climate variability, vulnerability, and hut fields.*

1. Introduction

La gestion des champs de case constitue un élément essentiel de l'agriculture de subsistance dans de nombreuses régions rurales du Bénin (Ahouansou, 2020). Ces espaces cultivés, généralement situés à proximité des habitations, sont également les dynamiques de genre importantes, où les rôles et responsabilités entre hommes et femmes s'expriment de manière différenciée. La plupart des écosystèmes des différentes régions agro écologiques sont aujourd'hui marqués par une dégradation du fait de la forte variabilité climatique associée à une grande fréquence des phénomènes extrêmes (sécheresse, augmentation de la température etc.) au cours de ces trois dernières décennies (Ogouwalé 2006). Les conséquences de la variabilité climatique pourraient être l'insécurité alimentaire accrue des communautés d'Afrique subsaharienne.

Le Bénin est aussi confronté aux effets néfastes de la variabilité climatique qui impacte tous les systèmes biologiques et physiques (Boko et Houssou, 2006), puisque 70 % des agriculteurs béninois pratiquent une agriculture pluviale (PANA-Bénin, 2008). Elle est donc soumise aux effets néfastes des différentes variations des paramètres climatiques tels que : la pluie, la température, le vent, la nébulosité. Pour Delmas (2018), les champs de case sont définis comme des espaces agricoles de petite échelle, principalement gérés par les femmes, qui servent à la production de denrées alimentaires destinées à la consommation domestique. Ces champs sont

essentiels pour la sécurité alimentaire et reposent sur des pratiques agricoles traditionnelles. La commune d'Agbangnizoun est située entre 7°00' et 8°10' de latitude Nord d'une part et entre 1°52' et 2°30' de longitude Est d'autre part. D'une superficie de 244 km2 limitée au Nord et à l'Ouest par la commune d'Abomey, au Sud par le Fleuve Couffo, à l'Est par les Communes de Bohicon et de Zogbodomey (figure 1).

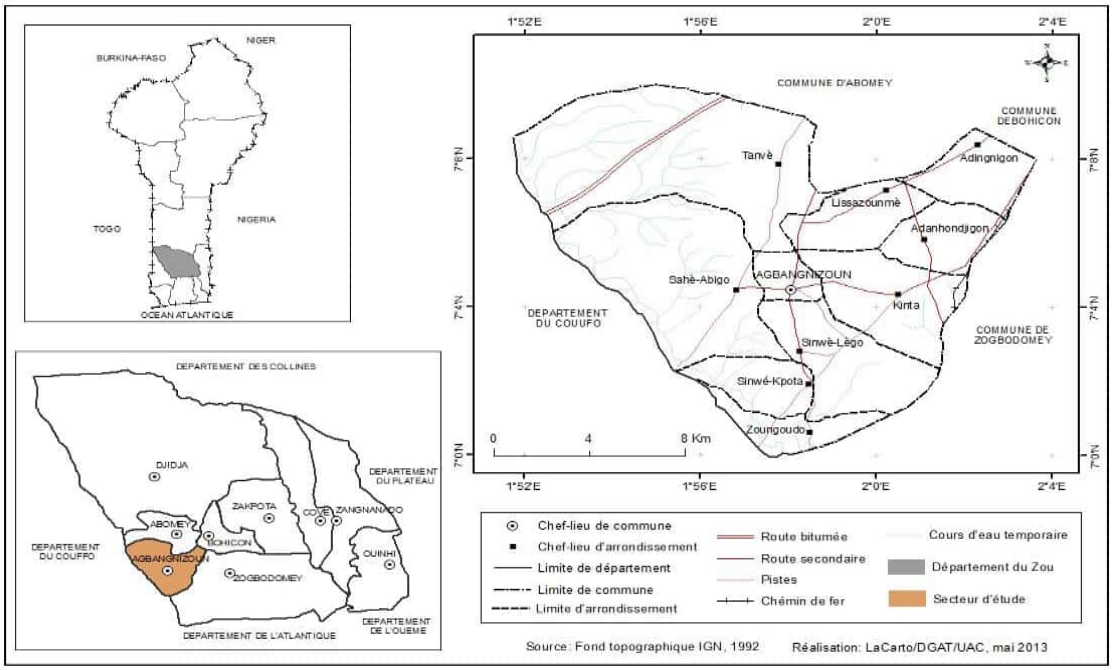


Figure 1 : Situations géographique et administrative de la commune d'Agbangnizoun

2. Données et méthodes

Les données utilisées sont des données climatologiques et des informations qualitatives recueillies lors des investigations socio-anthropologiques. Ces informations portent sur la connaissance des effets de la variabilité climatique, sur les champs de case et les stratégies d'adaptation des producteurs. Pour obtenir une estimation fiable des perceptions locales de la variabilité climatique avec une précision acceptable, la taille de l'échantillon a été déterminée selon la méthode probabiliste de D. Schwartz (1995), à l'aide de la formule suivante :

$X=(Z\alpha^2 \times p(1-p))/e^2$, où $Z\alpha = 1,96$ (valeur de l'écart réduit pour un niveau de confiance de 95 %), p = n/N représente la proportion estimée d'individus ayant observé des changements climatiques (n) par rapport à la population totale ciblée (N).

Dans le cadre de cette étude, p = 2154 / 3224 = 0,67 soit 67 %. Le taux d'erreur accepté est e = 5 %, soit 0,05. Le calcul donne alors : $X = (1,96)^2 \times 0,67 \times (1 - 0,67) / 0,05^2 = 339,75$, arrondi à 340 ménages. Cette taille permet d'assurer la représentativité statistique des données recueillies sur la perception de la variabilité climatique.

Les questionnaires, les guides d'entretien et les grilles d'observation ont fait l'objet d'un dépouillement. Le traitement et l'analyse des résultats ont été faits par le logiciel IBM SPSS Statistics 21 et les figures et tableaux par le tableur Excel.

3. Résultats et discussion

3.1. Variabilité climatique

Les anomalies pluviométriques ont permis de déterminer le comportement des pluviométrique du secteur d'étude à partir de la méthode du calcul de l'indice d'anomalies

standardisées de précipitations. La figure 2, présente les anomalies pluviométriques dans la Commune d'Agbangnizoun entre 1961-2023.

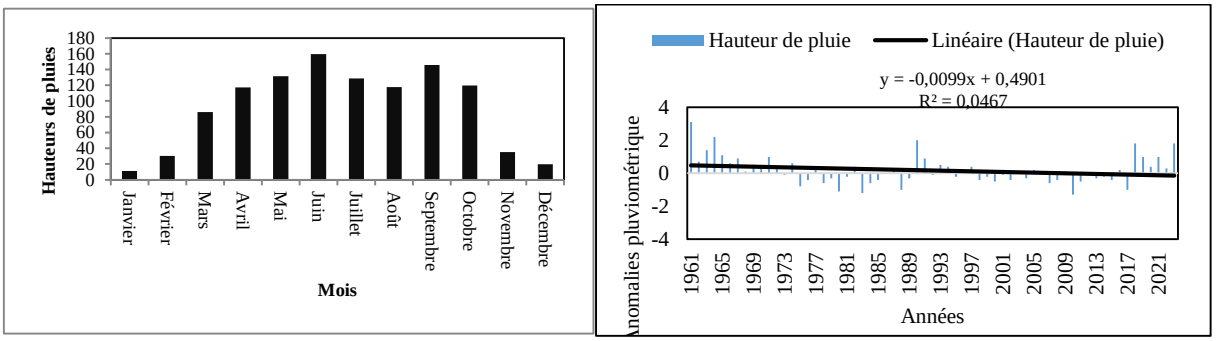


Figure 2 : Régime pluviométrique et Anomalies pluviométriques dans la Commune entre 1961-2023

Source : *Météo-Bénin, juillet 2024*

Globalement, deux tendances se dégagent dans la pluviométrie de la Commune entre 1961-2023. Cette tendance est caractérisée par deux décennies déficitaires (1971-1980 et 1981-1990) et quatre décennies excédentaires (1961-1970 ; 1991-2000 ; 2001-2010 et 2011-2023). Les variations annuelles de la pluviométrie pourraient avoir des impacts sur la production des champs de case (34 %) si le seuil de pluviométrie tolérable n'est pas atteint ou est dépassé. La figure 3 présente les régimes et tendances évolutives des températures dans la Commune Agbangnizoun de 1961-2023.

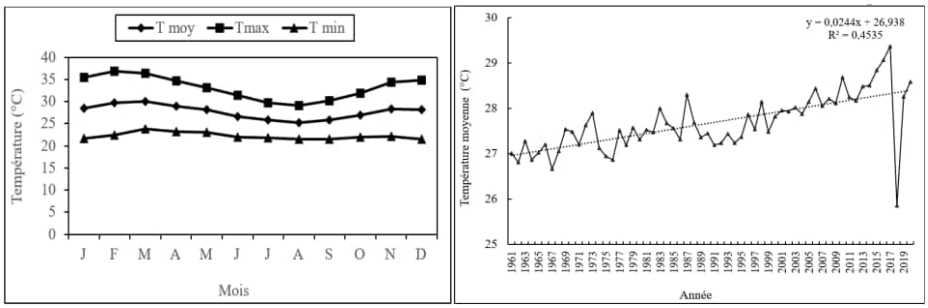


Figure 3 : Régime de la température mensuelle et évolution des températures annuelle

Source : *Données Météo-Bénin, juillet 2024*

T min = température minimale ; T max = température maximale ; T moy = température moyenne

L'analyse de la figure 3 permet de constater qu'il en résulte des températures maximales et minimales, des températures moyennes mensuelles, variant entre 25,25 °C en août et 30,08 °C en mars. La température moyenne s'élève de 28,20 °C en décembre à 30,08 °C en mars pendant la saison sèche. Or, la floraison et la fructification qui constituent des phases phrénologiques déterminantes pour la production des champs de case, ont lieu au cours de cette période. Par ailleurs, l'évolution des températures moyennes annuelles est marquée par une tendance à la hausse entre 1961 et 2020. En effet la plupart des études sur les tendances climatiques s'accordent sur une augmentation significative de la température moyenne (1° C) au niveau des plantes.

3.2 Conséquence de la variabilité climatique sur les champs de case

3.2.1 Destruction des cultures des champs de case

La destruction des cultures des champs de case est l'une des conséquences des phénomènes climatiques extrêmes. Les pluies abondantes et violentes affectent sérieusement la production des cultures. Il s'agit souvent des pluies de la première saison de pluie. La pourriture des

récoltes du fait de l'abondance des pluies juste à la maturation des cultures est très importante pour avoir une idée précise de l'ampleur de cette destruction des récoltes.

La pluie et la sécheresse sont les éléments du climat qui influent la production agricole. Parmi ces éléments, la pluie constitue la plus variable. Son action se fait sentir à travers sa nature, sa fréquence et sa variabilité qui imposent des contraintes au milieu naturel et à l'occupation agricole. Ainsi une sécheresse prolongée peut avoir des conséquences néfastes sur la croissance, la maturité et le rendement des cultures. Les aléas climatiques influencent négativement les prévisions agricoles. Ainsi 89 % des enquêtés, témoignant l'évolution des climats et des risques agricoles se présentent dans le tableau I.

Tableau VI : Indicateurs de l'évolution des climats et des risques agricoles

Indicateurs de l'évolution des climats	**Risques agricoles y afférant**
Démarrage tardif et/ou mauvaise répartition des pluies	Changement dans le déroulement de la saison agricole. Perturbation dans le calendrier agricole
Evolution du régime bimodal en régime unimodal	Perturbation du calendrier agricole. Faiblesse des rendements des cultures Pertes de cultures
Réduction du nombre de jours de pluies	Réduction de la saison agricole. Abandon des cultures à cycle long
Faiblesse d'écoulement ou assèchement rapide de certains marécages	Difficultés de pratiquer les cultures maraichères et de contre saison.

Source : Enquêtes de terrain, juillet 2024

De l'analyse du tableau I les indicateurs de l'évolution des climats et des risques agricoles montrent les difficultés auxquelles les paysans qui utilisent les champs de case.

3.2.2. Insectes ravageurs

Pendant la saison sèche, les insectes ravageurs sont des organismes nuisibles aux cultures en raison des dommages qu'ils occasionnent. Ils sont de plusieurs catégories et attaquent les différentes parties des plantes (la feuille, la tige et les racines). La planche 1 présente des cultures de champs de case attaquées par des insectes ravageurs.

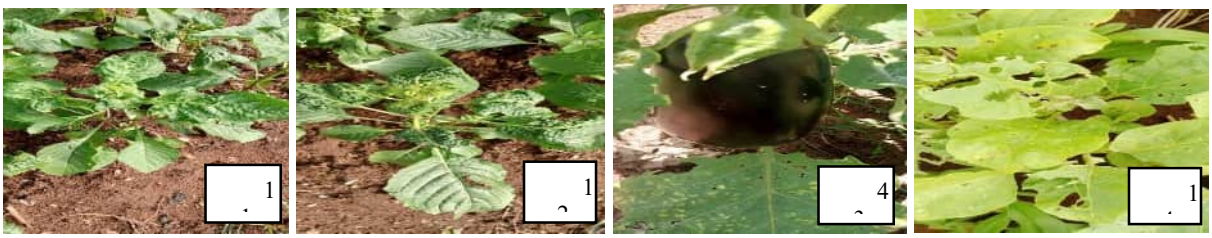


Planche 1: Culture de basilic africain (4.1 et 4.2) et culture d'aubergine (4.3 et 4.4)

Prise de vue : Ekponzan, août 2024

L'analyse des photos (1.1 et 1.2) montre que les feuilles de basilic africain (tchiayo) sont attaquées par les maccaria. Les photos (1.3 et 1.4) montrent la destruction des cultures d'aubergine détruites par les insectes ravageurs. Ainsi, les chenilles ravageuses qui consomment le feuillage avec voracité et peuvent détruire des plantes entières. Les premiers dégâts de larves apparaissent à la partie supérieure des plantes ou les jeunes feuilles rapprochées offrent aux chenilles du premier stade (néonates) un abri et des tissus tendres dont elles se nourrissent facilement selon 89 % des enquêtés. Ces larves tout en restant groupées, dévorent par endroits la face inférieure des feuilles ne laissant que l'épiderme supérieure et les larves âgées consomment des feuilles en n'épargnant que les nervures. Ces insectes attaquent la vernonia, le basilic africain, les fruits, la tomate, le crincrin, etc.

3.2.3 Bouleversement du calendrier agricole

Les différentes crises climatiques mises en exergue mettent les producteurs de camps de case dans une situation d'incertitude totale et impactent sur toutes les décisions d'entreprendre quelques opérations agricoles. Les saisons sont devenues très instables ont affirmé les personnes enquêtées. Elles déclarent ne plus cerner la date de semis et sont conscient que tous les semis sont à risque. Par conséquent les périodes et la date d'exécution des opérations agricoles deviennent aléatoires, plus de la moitié des personnes enquêtées affirment n'ayant aucune idée exacte sur la date du semis des produits vivriers. Certaines affirment que l'intensité de l'harmattan annonce une bonne récolte, mais ces derniers temps-ci, c'est le contraire.

3.3. Stratégies paysannes d'adaptation aux effets néfastes de la variabilité climatique

Dans le but de palier les effets néfastes de la variabilité climatique sur la production des champs de case, certaines stratégies d'adaptation sont développées (figure 4).

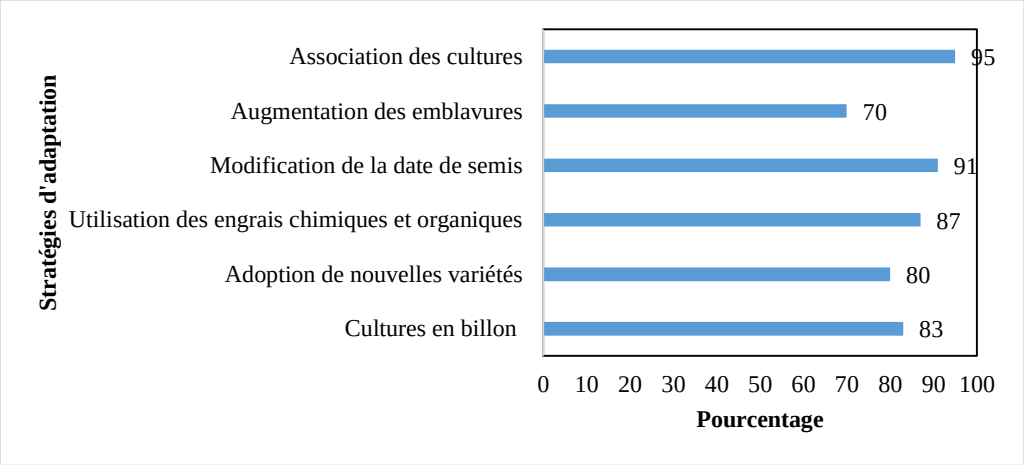


Figure 4 : stratégies d'adaptation paysannes

Source : Enquêtes du terrain, 2025

L'analyse de figure 4 montre que plusieurs stratégies d'adaptation sont utilisées par les producteurs de champs de case, il s'agit de l'association des cultures selon 95 % des producteurs, 80 % pour l'adoption de nouvelles variétés, 83 % pour les cultures en billon.

Discussion

Les résultats ont montré la vulnérabilité des champs de case à la variabilité climatique dans la Commune d'Agbangnizoun au Bénin. Ces résultats regagnent les travaux de Ogouwalé (2006) qui affirment que cette variation des paramètres climatiques à un impact négatif (baisse des rendements agricole et incertitude au niveau des paysans) sur la production vivrière dans le Bénin méridional. En effet, diverses stratégies d'adaptation sont développées pour réduire les effets néfastes de la variabilité climatique sur la production des champs de case. Ce qui concorde avec Les résultats obtenus semblent bien correspondre à ceux de Seydou (2020) et Koumai (2012) qui ont montré que les stratégies d'adaptation développées par les paysans pour réduire les effets des changements climatiques dans la dépression médiane sont telles que : récolte précoce des cultures, pratiques occultes d'adaptation, utilisation des intrants, abandon des parcelles submersibles, augmentation des emblavures, utilisation des variétés à cycle court, cultures en billons.

Conclusion

Cette recherche a permis d'analyser la vulnérabilité des champs de case à la variabilité climatique dans la Commune d'Agbangnizoun au Bénin. L'analyse des données climatiques a permis d'avoir une connaissance des impacts de la variabilité climatique sur la production des champs de case. La variabilité climatique bien connues par les précipitations et la température.

Les producteurs ont développé diverses stratégies face à cette variabilité climatique pour réduire leur vulnérabilité.

Bibliographie

Ouorou-Barre I., 2014 : Contraintes climatiques, pédologiques et production agricole dans l'Atacora (Nord-Ouest Bénin). Thèse de doctorat; Bénin. FLASH/ UAC. 241p.

Dimon R., 2008 : adaptation aux changements climatiques : perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara, au Nord du Bénin. Thèse d'Ingénieur Agronome, FSA/UAC, 209 P.

Sare B., 2019 : Influences des variabilités et changements climatiques sur les productions animales, végétales et halieutiques dans la basse vallée de l'Ouémé au Benin. Thèse de doctorat en Environnement, Santé et Développement Durable, EDP/UAC, 359 p.

Ahouansou C., 2020 : Savoirs traditionnels féminins et durabilité des sols au Bénin, Presses de l'Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, 310 p.

Ogouwale E., 2006 : Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin. Mémoire de thèse. 206 p.

Boko M. et Houssou C., 2006 : Pluviométrie exceptionnelle et vulnérabilité des établissements humains dans le Bénin méridional ; Article. UAC/FLASH/DGAT/LECREDE. 9 p.

PANA-Bénin, 2008 : Programme d'Action Nationale d'Adaptation, Rapport final. 81 P.

Delmas O., 2018 : L'agriculture de case : Un modèle résilient en Afrique rurale, Éditions du CNRS, Paris, 300 p.

Schwartz D., 1995 : *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et biologistes,* édition Flammarion Médecins Sciences, 1969 p.

Seydou W., 2020 : Vulnérabilité du paysannat aux changements climatiques dans la dépression médiane au sud-Benin, Thèse de Doctorat, UAC, Cotonou, Bénin, 265p.

Koumai B., 2012 : L'économie de l'anacarde dans l'Arrondissement de Bariénou dans la Commune de Djougou. Mémoire de maîtrise. DGAT/FLASH/UAC, 74 p.

VULNERABILITE DES CULTURES DE CONTRE-SAISON DANS LA ZONE DE TRANSITION CLIMATIQUE DU BENIN

Richard TODE[1], Ernest AMOUSSOU[1, 2] et Henri Sourou TOTIN VODOUNON[1, 2]

[1] Laboratoire de Climatologie et d'EThnoclimatologie (Labo ClimET-UP), Département de Géographie, Université de Parakou, BP 123, Parakou, Bénin, toderichard38@gmail.com

[2] Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, 03BP1122 Cotonou, Bénin, ajernest@yahoo.fr ; totinsourouhv@gmail.com

Résumé : *La variabilité climatique constitue un défi majeur en particulier pour l'agriculture de contre-saison. Cette étude examine l'impact de la variabilité climatique sur la production de contre-saison dans la commune de Ouessè. Les données utilisées sont celles de pluie, de température et de l'ETP mensuelles (1982-2022) auxquelles s'ajoutent les données d'enquête. Elles ont permis de calculer l'indice de précipitations standardisées (SPI), le bilan climatique (BC) et l'indice de vulnérabilité. Les résultats ont montré une saison sèche de novembre à mars avec une forte évaporation (BC : -673,46 mm) et un stress hydrique marqué (230,47 mm). Les SPI (-2) ont signalé que cette période est extrêmement sèche. Le tarissement des sources d'eau dès fin janvier (88 %) bascule vers une forte dépendance à l'irrigation (58,6 %) où les producteurs ont adopté des stratégies comme le paillage.*

Mots clés : *Ouessè, zone de transition climatique, vulnérabilité, culture de contre-saison*

Abstract: Vulnerability of off-season crops in the climatic transition zone of Benin. *Climate variability is a major challenge, particularly for off-season agriculture. This study examines the impact of climate variability on off-season production in the commune of Ouessè. The data used are monthly rainfall, temperature and FTE data (1982-2022) plus survey data. They were used to calculate the Standardised Precipitation Index (SPI), the Climate Budget (BC) and the Vulnerability Index. The results showed a dry season from November to March with high evaporation (BC : -673.46 mm) and marked water stress (230.47 mm). The SPIs (-2) reported that this period is extremely dry. The drying up of water sources at the end of January (88%) has shifted to a strong dependence on irrigation (58.6%) where producers have adopted strategies such as mulching.*

Keywords: *Ouesse, transitional climatic zone, vulnerability, off-season crop production.*

Introduction

L'intensification de la variabilité climatique dans les zones intertropicales accroît la vulnérabilité du secteur agricole et le contraste entre les précipitations et des températures saisonnières devrait s'accentuer au cours du XXIe siècle (IPCC, 2022). Cette variabilité climatique accrue induit une baisse significative des rendements agricoles en Afrique, où l'agriculture pluviale demeure la principale source de subsistance et le pilier du développement économique (Anogbro, 2015).

Au Bénin, la variabilité climatique affecte plusieurs secteurs, notamment ceux des ressources en eau et de l'agriculture avec une médiocrité des rendements agricoles (Djobo et al., 2021). En effet, la sécurité alimentaire des ménages est affectée en termes de faible rendement et d'insuffisance de produits vivriers (Vodounou et al., 2016) en raison de la variabilité croissante du climat.

La commune de Ouessè, appartenant à la zone de transition climatique du Bénin subit une instabilité croissante des régimes pluviométriques ainsi qu'une hausse des températures maximales et minimales (Todé, 2024). Ces dynamiques climatiques perturbent les calendriers agricoles et contraignent la production agricole. Ainsi, la production des cultures de contre-saison, considérée comme une stratégie pour renforcer la sécurité alimentaire se révèle particulièrement vulnérable aux variations climatiques saisonnières. Cette étude vise donc à analyser les effets de la variabilité climatique sur la production de contre-saison dans la commune de Ouessè.

La commune est située entre 8°15' et 8°45' de latitude nord, 2° 15' et 2° 45' de longitude est, avec une précipitation moyenne annuelle de 1092,96 ± 214,37 mm et une température moyenne

de 27,9 ± 0,44 °C (Todé, 2024). Elle s'étend entre l'Okpara à l'Est et l'Ouémé à l'Ouest sur une superficie d'environ 3200 km², soit 2,56 % de la superficie nationale (Doudji, 2020) et compte neuf arrondissements.

1. Données et méthodes

Les données utilisées sont celles des précipitations journalières (poste pluviométrique de Ouessè), de la température et de l'ETP mensuelles (1982-2022), de la station synoptique de Savè obtenues auprès de l'Agence nationale Météo-Bénin. Elles ont servi à calculer l'Indice de Précipitation Standardisé (SPI) mensuel de l'OMM (2012), le Bilan Climatique (BC) et la date du démarrage des pluies. En complément, une enquête de terrain d'une période de seize jours a été réalisée auprès de 387 agriculteurs, éleveurs et chefs de village, sélectionnés par échantillonnage aléatoire raisonné, afin de construire une matrice de vulnérabilité.

La grille d'interprétation de l'SPI a permis de classer les anomalies de précipitations des mois allant de conditions de sécheresse extrême (SPI < -2) à des périodes de fortes pluies (SPI > 2). Les dates du début et fin de la saison pluvieuse sont déterminées par la méthode de définition de l'Anomalous Accumulation adoptée par Izandji Owowa et al. (2017). Elle est définie par $AA(t) = \sum_{n=1}^{t} R(n) - R$ où AA(t) représente l'Anomalous Accumulation au jour t, R étant la moyenne de précipitations journalières et R (n) les précipitations au jour n. Le début (et fin) de la saison des pluies sont déterminés par la date minimale (et la maximale) de la courbe.

La construction de la matrice de vulnérabilité repose sur les trois dimensions définies par l'IPCC (2022) que sont l'exposition (E), la sensibilité (S) et la capacité d'adaptation (CA) des populations. L'indice de vulnérabilité (IV) est calculé selon la formule : IV = (E + S) – CA. Chaque dimension est évaluée sur une échelle de 1 à 5. L'interprétation des résultats permet de classer la vulnérabilité en quatre catégories (Tableau I).

Tableau 1 : Catégorisation de la vulnérabilité

Niveau de vulnérabilité	Exposition	Sensibilité	Capacité d'adaptation	Indice de vulnérabilité	Catégorisation
Faible	1-2	1-2	4-5	< 2	Peu vulnérable
Modérée	2-3	2-3	3-4	2 – 4	Moyennement vulnérable
Élevée	3-4	3-4	2-3	4 – 6	Vulnérable
Très élevée	4-5	4-5	1-2	> 6	Très vulnérable

Source : Adapté de IPCC (2022)

2. Résultats et discussion

2.1. Caractéristiques saisonnières du secteur d'étude

La figure 1 présente le diagramme ombrothermique et le bilan climatique de Ouessè.

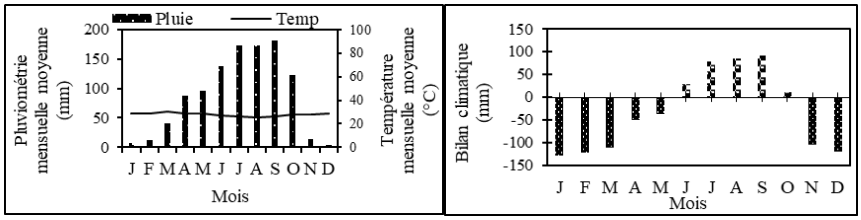


Figure 1 : Diagramme ombrothermique (a) et bilan climatique (b) de Ouessè de 1982-2022

La saison pluvieuse d'avril-octobre enregistre en moyenne par mois, 138,84 ± 38,1 mm de

pluie et est suivie de la saison sèche de novembre à mars. La température moyenne saisonnière est de 29,07 ± 0,92 °C et est associée à l'influence de l'alizé saharien (Boko, 1992) de décembre à février, entraînant des conditions de chaleur intense et de faible humidité

augmentant le stress hydrique en ces périodes. La figure 2 met en évidence l'évolution des SPI mensuels à Ouessè.

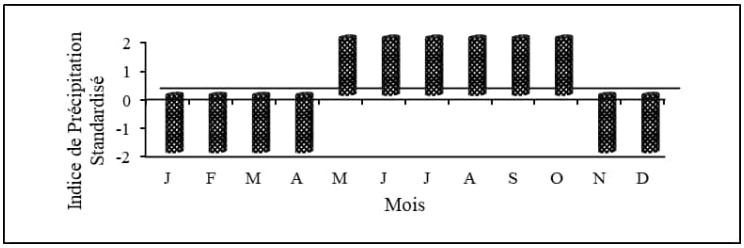


Figure 2 : Indices de Précipitation Standardisé (SPI) mensuel de 1982-2022

La période de la culture de contre-saison (novembre à avril) est caractérisée par un déficit hydrique sévère, avec des valeurs de l'SPI évaluées à - 2 durant toute la saison. Ce déficit atteint son paroxysme en janvier avec un manque de précipitation estimé à 128,82 mm, ce qui compromet fortement la disponibilité en eau pour les cultures. Cette situation fait du mois de janvier un mois critique, marquant le point de basculement vers l'assèchement progressif des sources d'eau locales, limitant considérablement les possibilités d'irrigation des cultures.

2.2. Facteurs de vulnérabilité de culture de contre-saison

Les facteurs qui influent la culture de **contre-saison** sont classés en quatre grandes catégories que sont les facteurs **climatiques, hydrographiques, pédologiques et infrastructurels.**

2.2.1. Facteurs climatiques

- ***Température***

La figure 3 présente la variation moyenne mensuelle (a) et annuelle (b) des températures minimale, moyenne et maximale de 1982 à 2022.

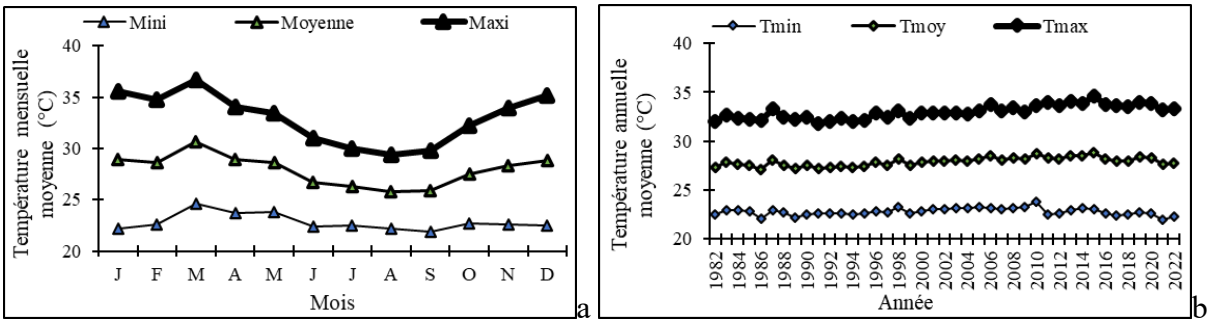


Figure 3 : Températures moyennes mensuelles (a) et annuelles (b) de 1982 à 2022 à Ouessè

La variabilité de la température moyenne annuelle est de 27,90±1,51 °C et reste la même à l'échelle mensuelle avec une maximale de 36,65 ± 1,08 °C en mars et une minimale de 22,19 ± 1,13 °C en janvier et reste constamment élevée en moyenne de novembre à mars (29,07 ± 0,92 °C). La variation thermique saisonnière à Ouessè est de 2 °C. En effet, les températures élevées durant la saison sèche (novembre-avril) augmentent l'évapotranspiration (Amoussou et al., 2016) créant un stress thermique pour les cultures qui souffrent de chaleur excessive et de stress hydrique. Malgré l'arrosage, certaines cultures s'assèchent (47 %) et ces conditions favorisent l'apparition de ravageurs des cultures (65 %). Selon les études de Adigbégnon et al. (2020) dans la zone, l'augmentation des températures est indépendante des saisons et constitue une vulnérabilité pour les habitants que pour l'agriculture surtout en périodes sèches.

- ***Retard dans le démarrage des pluies***

La figure 4 met en évidence la variabilité du début et de la fin de la saison pluvieuse.

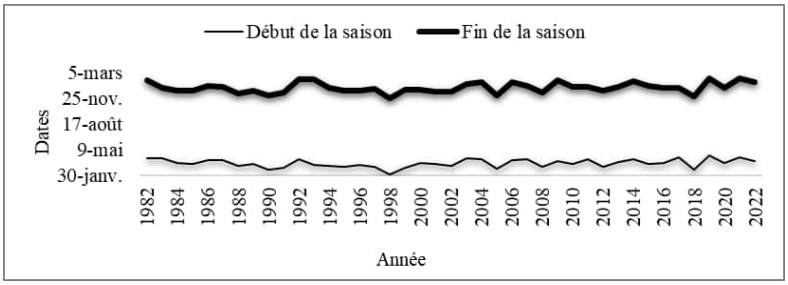


Figure 4 : Variations des dates du début et fin de la saison pluvieuse de 1982 à 2022 à Ouessè

Les débuts de la saison pluvieuse présentent une instabilité temporelle avec 25 % des années débutant en deuxième décade de mars et 20 % en première décade, sauf pour les années 1998, 1999, 2005 et 2018, où les pluies débutent plus tôt (février). En revanche, les saisons de 1982, 1983, 2003, 2007, 2011, 2014, 2017, 2019 et 2021 ont un retard, commençant en deuxième décade d'avril. Selon Orou-Seko et al. (2017), cette variabilité dans le démarrage des pluies représente une vulnérabilité pour les agriculteurs, affectant la planification agricole et accroit leurs dépendances à l'irrigation.

D'autres facteurs climatiques tels que les vents violents et la faible humidité relative influencent significativement la production des cultures de contre-saison. En effet, les vents sont susceptibles d'endommager les organes aériens, perturber la pollinisation et accélérer l'évaporation au niveau du sol et des feuilles, asséchant rapidement le milieu pédoclimatique. Rockström et al. (2010) soulignent que ces conditions extrêmes, notamment les vents secs et chauds, sont des facteurs limitants majeurs pour les systèmes agricoles pluviaux en Afrique subsaharienne, surtout en période sèche. Par ailleurs, une faible humidité relative aggrave le stress hydrique en augmentant le gradient de vapeur entre les stomates et l'atmosphère, ce qui accélère la transpiration et l'évapotranspiration. Même en présence d'humidité dans le sol, cette dynamique complique l'absorption d'eau par les racines. Hatfield et al. (2015) rappellent que l'évapotranspiration constitue un mécanisme important de perte d'eau sous stress thermo-hydrique, réduisant l'efficacité de l'irrigation et la résilience des cultures.

2.2.2. Facteurs pédologiques

La commune de Ouessè compte treize différents types de sols et dominée par les sols ferrugineux tropicaux, ferralitiques et hydromorphes qui sont très fertiles pour l'agriculture (Todé, 2024). Elle dispose de 150 000 ha de terres cultivables qui sont pour la plupart lessivés et dégradés (Comblan, 2021). Les sols ferrugineux tropicaux et ferralitiques, bien que fertiles, sont souvent soumis à un lessivage important, ce qui réduit leur capacité à retenir l'eau et les nutriments, rendant difficile l'irrigation pendant la saison sèche. Ces sols perdent rapidement leur fertilité et leur structure sous l'effet de l'érosion, rendant les cultures plus sensibles au stress hydrique. De plus, les sols hydromorphes, bien qu'ayant une bonne capacité de rétention d'eau, peuvent devenir compactés lors des périodes sèches, limitant la croissance des racines et l'absorption d'eau, affectant ainsi la productivité des cultures de contre-saison (tomate, carotte, laitue, piment, gombo, chou, maïs, légume, etc.).

2.2.3. Facteurs hydrographiques

Le secteur d'étude dispose selon Todé (2024), d'une richesse hydrographique avec sept principaux cours d'eau (Ouémé, Okpara, Gbeffa, Kilibo, Liga, Nonomi et Toumi) qui représente un atout majeur pour la culture de contre-saison. Toutefois, l'assèchement rapide des lits des rivières durant la saison sèche constitue un défi majeur pour la culture de contre-saison. Il intensifie la compétition pour les ressources en eau et augmente les conflits de transhumance entre agriculteurs et éleveurs, en raison de la réduction des zones de pâturage et de l'accès plus difficile à l'eau à partir de janvier (88 % des enquêtés).

2.2.4. Facteurs liés aux infrastructures et types de cultures

La figure 5 expose les perceptions sur les facteurs infrastructurels et types de cultures.

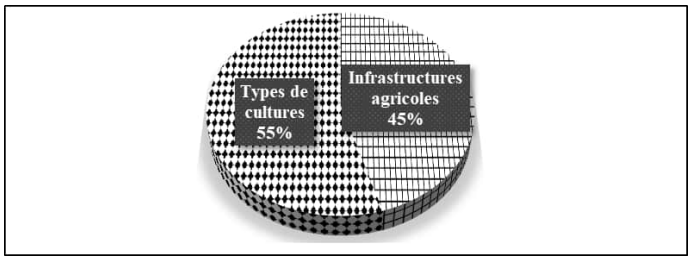


Figure 5 : Perception des populations sur les facteurs influençant la culture de contre-saison

Source : *Travaux de terrain, Juin 2023*

Les perceptions des populations révèlent que le manque d'infrastructures adaptées, telles que les systèmes d'irrigation et les réservoirs d'eau, engendre une dépendance accrue à l'irrigation manuelle, réduisant ainsi la productivité et augmentant les coûts de production, tout en favorisant la perte d'eau irriguée. Les cultures à forts besoins en eau, comme la tomate, la laitue, maïs sont particulièrement vulnérables au déficit d'irrigation (75 %). À l'inverse, les cultures tolérantes à la sécheresse (le niébé, le gombo et la patate douce) et certains légumes comme la grande morelle (*Gboman*) ont une meilleure résilience face à ces contraintes (66 %).

2.3. Evaluation de la vulnérabilité de la culture de contre-saison

La tableau II expose la vulnérabilité de la culture de contre-saison en fonction des facteurs.

Tableau 2: Vulnérabilité de la culture de contre-saison en fonction des facteurs.

Facteurs	E	S	**CA**	IV	**Catégorisation**
Facteurs climatiques (Vagues de chaleur, fréquence des sécheresses, démarrage des pluies)	3 -4	4 -5	1 -2	6 -7	Très vulnérable
Facteurs hydrographiques (Conflits pour l'accès à l'eau, dépendance à la pompe, assèchement des sources d'eau)	3 -4	3 -4	2 -3	4 -5	Vulnérable
Disponibilité des infrastructures d'irrigation et accès à l'eau (Absence de systèmes d'irrigation adaptés, dépendance à l'irrigation manuelle, capacité d'adaptation)	3 -4	4 -5	2 -3	5 -6	Très vulnérable
Types de sols et de cultures (Sol ferrugineux tropicaux, ferralitiques, hydromorphes)	3 -4	3 -4	2 -3	4 -5	Vulnérable

Source : *Travaux de terrain, juin 2023*

La culture de contre-saison est fortement affectée par les facteurs climatiques (6-7), notamment la variabilité des pluies, la fréquence des sécheresses et l'augmentation des températures et de l'évaporation, réduisant la disponibilité en eau pour les cultures. Cette vulnérabilité est accentuée par l'absence d'infrastructures adéquates, compliquant l'irrigation et renforçant la dépendance aux pompes (5-6). En Afrique de l'Ouest, selon Zougmoré et al. (2014), la vulnérabilité de la culture de contre-saison résulte d'un déficit hydrique chronique, d'une faible capacité de prévision climatique, de la dégradation des sols et du manque d'infrastructures. Yade et al. (2024) soulignent l'exposition croissante des systèmes agricoles irrigués aux sécheresses et à la variabilité des précipitations, dans un contexte de faiblesse structurelle. Ces résultats convergent vers un constat partagé : en l'absence de mesures d'adaptation renforcées, les cultures de contre-saison demeureront fortement vulnérables.

Conclusion

Cette étude a montré que la vulnérabilité de la culture de contre-saison dépend de cinq facteurs et le principal est climatique conditionnant les autres. L'indice de vulnérabilité est très

élevé pour des facteurs climatiques (6-7) et des systèmes d'irrigations (5-6). La hause des températures saisonnières (22,90 ± 1) pour les minimales, (29,07 ± 0,92) pour les moyennes et (35,24 ± 1) pour les maximales avec un taux de variation de 2 °C en moyenne augmente l'évaporation et l'assèchement prononcé des sources d'eaux et rend difficile l'accès à l'eau pour l'irrigation faite manuellement. Cette technique d'irrigation contribue à la perte d'eau irriguée compliquant la situation dans le cas du retard des DSA enregistré sur 45 % des années.

Remerciements : Nos sincères reconnaissances à tous les membres du Laboratoire de Climatologie et d'EThnoclimatologie de l'Université de Parakou.

Bibliographie

Adigbegnon M., Totin Vodounon S. H., Amoussou E., Avahouin C. N. N., Houngnibo K. et Adetona l., 2020 : Réchauffement climatique dans le domaine de transition climatique au Bénin. 33ème Colloque de l'AIC, 25-30.

Amoussou E., Totin Vodounon S. H., Cledjo P. F., Allagbe B., Akognongbe A., Houndenou C., Mahe G., Camberlin P., Boko M. et Perard J., 2016 : Évolution climatique du Bénin de 1950 à 2010 et son influence sur les eaux de surface. 29ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Besançon, France, 231-236.

Anogbro P., 2015: *Variabilité climatique et culture de l'igname dans le périmètre agricole de Bouaké-Commune* Mémoire de master, Université d'Alassane Ouattara, 103 pages.

Boko M., 1992 : Saisons et types de temps au Bénin : *analyse objective et perceptions populaires*. **4**, 321-332

Comblan Y. R., 2021. *Réchauffement climatique et dynamique des milieux humides dans la commune de Ouessè. Mémoire de licence, FLASH/UP, 50 pages.*

Djobo A. G. et Bourandi P., 2021 : *Vulnérabilité agropastorale aux contraintes climatiques et adaptation dans la commune de Tchaourou,* Mémoire de licence, FLASH/UP, 54 pages.

Doudji M. D., 2020. *Variabilité pluviométrique et sécurité alimentaire dans la commune de Ouessè*. Mémoire de licence, FLASH, Université de Parakou, 45 pages.

Hatfield, J. L., & Prueger, J. H., 2015 : Temperature extremes : Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, **10**, 4-10.

IPCC, 2022, Climate Change 2022 : *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pages.

Organisation météorologique mondiale (OMM), 2012 : *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé*. CH-1211 Genève 2, Suisse, 25 pages.

Orou Seko S. S. M., Tabou T. et Ogouwale E., 2017 : Variabilité pluviométrique et qualité des saisons culturales dans le département de l'alibori. *Revue Géographique de l'Université de Ouagadougou*, **08**, 43-63.

Rockström, J., Karlberg, L., Wani, S. P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T. & Qiang, Z., 2010 : Managing water in rainfed agriculture-The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, **97**, 543-550.

Todé R., 2024. *Variabilité climatique et calendrier agricoles dans la commune de Ouessè*. Mémoire de licence en Géographie physique, Université de Parakou, 50 pages.

Vodounou K. J. B. et Doubogan Onibon Y., 2016 : Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin. *In European Journal of Geography*. Environnement, Document 794, 25 pages.

Yade, S., Dia, K., & Grace, D., 2024 : Climate risks and vulnerabilities in African agrifood systems. Kigali et Washington, 46-63.

Zandji Owowa L. R. M., Salim A. A., Ramiharijafy R., Rabeharisoa J. M. Et Ratiarison A. A., 2017 : Détermination et analyse des dates de début et de fin des saisons de pluies au Nord de Madagascar. **13**, 190-206.

Zougmoré, R. B., Partey, S. T., Ouédraogo, M., Thornton, P. K., & Kristjanson, P., 2014 : Transforming climate science knowledge into *actionable strategies for climate-smart agriculture in West Africa.* **2**, 302-320.

ANALYSE DE LA PERFORMANCE DES AMENAGEMENTS HYDROAGRICOLES DU DEPARTEMENT DE KORHOGO DANS LE NORD DE LA COTE D'IVOIRE : CAS DES BARRAGES DE LATAHA ET NOUPLE

Adama TOURE[1], Zounabou SOWADOGO épouse KOUYATE[2], Djénéba MANE[3]

[1]*Département de Géographie, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire E-mail : adama.toure@upgc.edu.ci*

[2]*Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire E-mail : k_zeynab@yahoo.fr*

[3]*Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire E-mail : mdjeni@yahoo.fr*

Résumé : *La production rizicole des barrages hydroagricoles dans le département de Korhogo reste insuffisante. Cette étude vise à analyser la performance des périmètres hydroagricoles de Lataha et Nouplé dans ledit département. La méthodologie utilisée repose sur l'enquête de terrain menée auprès de 260 producteurs de riz choisis sur la base d'une méthode probabiliste dans les deux périmètres. Les résultats montrent une réduction de la pluviométrie dans la zone et un manque d'organisation des producteurs dans l'entretien des canaux d'irrigation. En plus, les digues sont fendues respectivement par 44,2% et 47% des producteurs à Nouplé et Napié, dans l'optique de détourner l'ordre d'écoulement normal de l'eau à leur profit. Ces pratiques provoquent un dérèglement de la circulation de l'eau qui influences négativement les rendements et l'objectif de deux cycles culturaux par an.*

Mots clés *: performance, aménagements hydroagricoles, Korhogo, Côte d'Ivoire.*

Abstract: ***Analysis of the performance of hydro-agricultural developments in the Korhogo department in the north of Côte d'Ivoire: the case of the Lataha and Nouplé dams. Rice production from hydro-agricultu****ral dams in the Korhogo department remains insufficient. This study aims to analyze the performance of the Lataha and Nouplé hydro-agricultural schemes in the said department. The methodology used is based on a field survey conducted among 260 rice producers selected on the basis of a probabilistic method in the two schemes. The results show a reduction in rainfall in the area and a lack of organization among producers in the maintenance of irrigation canals. In addition, the dikes are cracked by 44.2% and 47% of producers in Nouplé and Napié respectively, with the aim of diverting the normal flow of water to their benefit. These practices cause a disruption in water circulation which negatively impacts yields and the objective of two crop cycles per year.*

Keywords : *Performance, hydroagricultural developments, Korhogo, Côte d'Ivoire.*

Introduction

Depuis la fin des années 1960, la Côte d'Ivoire, à l'image de l'ensemble des pays de l'Afrique de l'Ouest, connaît une fragilisation des conditions climatiques qui affectent les productions agricoles (Brou *et al,* 2005). '*La maîtrise totale ou partielle de l'eau est apparue alors comme solution à l'agriculture pour ces régions'* (Hillel, 2000).

Le développement de l'agriculture irriguée était donc indispensable pour atteindre les objectifs de sécurité et des stratégies alimentaires à long terme. Pour cela, d'importants efforts pour la mobilisation et la gestion des ressources en eau ont été réalisés par les pouvoirs publics (Salia, 2011). De ce fait, plusieurs dizaines de barrages agricoles ont été alors réalisés en Côte d'Ivoire. Le pays dispose de 290 barrages dans la région du nord, dont 271 à vocation pastorale et 19 à vocation agricole. Le département de Korhogo constitue une zone stratégique pour le développement rizicole si bien qu'on y enregistre le plus grand nombre d'aménagements hydro-agricoles destinés à la riziculture (Cecchi, 2007). La nécessité de la sécurité alimentaire exprimée initialement était la finalité de ces barrages hydro-agricoles. A cela, s'ajoutait la nécessité d'impulser une nouvelle organisation paysanne de production du riz, afin de relancer la filière rizicole qui faisait l'objet d'importation massive (Silué, 2012). Ces barrages hydro-

agricoles constituent des réservoirs d'eau conçus pour interrompre les lits des cours d'eau, afin de les utiliser en saison sèche et en quantité suffisante. Elles offrent la possibilité de faire deux cycles de culture par an et d'obtenir ainsi une productivité élevée et à contre saison. Mais, son utilisation nécessitait une maîtrise de la gestion de l'eau (Oka, 1982). Un programme d'irrigation a donc été mis en place pour les paysans après la création de ces barrages. La création de ces barrages dans le nord de la Côte d'Ivoire faisait parties d'un projet rizicole dont ont bénéficié certaines localités du département de Korhogo telles que Lataha et Nouplé. Elles abritent les barrages de Nouplé d'une superficie de 247 ha et de Lataha qui a une superficie de 250 ha. Pourtant, malgré ces lourds investissements fait par l'Etat ivoirien dans le domaine agricole, le pays est encore déficitaire en riz. De plus, la performance de ces aménagements est peu connue. Selon Ouattara (2012), les productions de la riziculture irriguée du département de Korhogo, restent faibles avec des rendements inférieurs à 4 tonnes à l'hectare. Il est donc apparu nécessaire d'analyser la performance de ces périmètres hydroagricoles. Cette étude dont le thème est « Analyse de la performance des aménagements hydroagricoles du département de Korhogo dans le Nord de la Côte d'Ivoire : cas des barrages de Lataha et Nouplé » a pour objectif général l'analyse de la performance des périmètres irrigués de Lataha et Nouplé. Plus spécifiquement, il s'agit d'analyser l'exploitation de l'espace aménagé pour l'irrigation ; évaluer l'utilisation de l'eau sur les périmètres irrigués ; et analyser la capacité organisationnelle des exploitants.

1. Matériel et méthodes

Cette étude qui porte sur la performance des périmètres rizicoles de Lataha et Nouplé a mobilisé des données primaires et secondaires. La collecte des données primaires se fonde sur une méthode probabiliste. En effet, pour garantir un échantillon représentatif malgré une population hétérogène, la formule de Fisher a permis de calculer la taille de l'échantillon des riziculteurs enquêtés dont la population mère est de 803 personnes :

$$n = \frac{(\mathrm{tp})^2 * \mathrm{p}(1-\mathrm{p})\mathrm{N}}{(tp)^2 * p(1-p) + (N-1) * y^2}$$

$$n = \frac{(1{,}96)^2 * 0{,}5(1-0{,}5) * 803}{(1{,}96)^2 * 0{,}5(1-0{,}5) + (803-1) * (0{,}05)^2}$$

n : Taille de l'e échantillon

N : Taille de la population mère

tp : Intervalle de confiance d'échantillonnage est de 95%, soit t= 1,96

y : Marge d'erreur est de 5%, soit y= 0,05

p : Proportion réelle 50%, soit 0,5.

Suite à l'application de la formule, un effectif de 260 riziculteurs a été obtenu pour l'enquête. Au prorata du poids de chaque barrage dans la composition de la population mère, les 260 producteurs sont répartis comme suit : 140 riziculteurs à Lataha et 120 riziculteurs à Nouplé. Le choix des producteurs a été fait de façon aléatoire par tirage au sort sans remise au niveau de chaque périmètre. Les données secondaires mobilisées sont issues des travaux de Touré (2018), et Silué (2012). A ces écrits s'ajoutent les données pluviométriques issues de la SODEXAM. Elles ont permis d'obtenir des données générales sur la riziculture irriguée dans les deux espaces. Des interviews ont été réalisées avec les responsables des coopératives rizicoles. Les entretiens ont porté sur le niveau d'eau dans les barrages et l'entretien des périmètres.

2- Résultats et discussion

2.1. Des périmètres rizicoles partiellement mis en valeur

En général, tout le périmètre aménagé n'est pas exploité par les producteurs au niveau des deux barrages, comme le montre le tableau 1.

Tableau 1. Proportion des producteurs ayant cultivé le riz par cycle de culture dans les périmètres de Lataha et Nouplé

Cycle	Proportion des producteurs qui cultivent le riz (%)		
	Nouplé	Lataha	Moyenne
1er cycle	81,67	78,57	80
2e cycle	95	90,71	92,69
Moyenne	88,33	84,64	86,34

Dans l'ensemble, quoique majoritaires tous les producteurs ne parviennent pas à cultiver le riz sur les deux cycles de production. Précisément, 80% des riziculteurs font la culture au premier cycle et 92,34% au second cycle. A l'échelle des périmètres, avec une moyenne annuelle de 88,33%, la proportion des producteurs qui cultivent le riz au premier cycle et au second est respectivement de 81,67% et 95% à Nouplé, Cette proportion qui est respectivement de 78,57% et 90,71% est moins élevée à Lataha dont la moyenne annuelle est de 84,64%.

Les superficies cultivées par producteur sont en moyenne en deçà d'un hectare, comme l'atteste le tableau 2.

Tableau 2. Superficies moyennes cultivées par cycle dans les périmètres de Nouplé et Lataha

Cycle	Superficie moyenne (ha)		
	Nouplé	Lataha	Moyenne
1er cycle	0,56	0,50	0,528
2e cycle	0,54	0,53	0,535
Moyenne	0,55	0,516	0,531

Dans l'ensemble, les superficies moyennes sont de 0,531 ha dont 0,528 ha pour le premier cycle et 0,535 ha pour le second. Avec une moyenne de 0,55 ha, les superficies moyennes sont plus élevées dans le périmètre de Nouplé que celles de Lataha où elles s'élèvent à 0,516 ha. Au niveau des deux périmètres, les superficies moyennes sont sensiblement égales, du premier cycle au second cycle.

2.2. Une pluviométrie en baisse

Une bonne pluviométrie participe au ravitaillement des barrages en eau pour l'irrigation des périmètres. De l'an 1950 à 2020, une régression générale de la pluviométrie est observée dans la zone étudiée, comme l'atteste la figure 1.

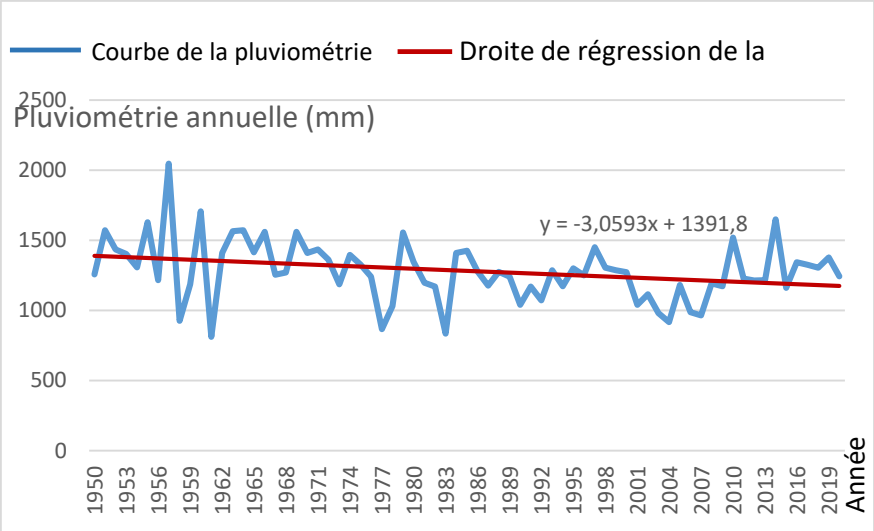


Figure 1. Evolution de la pluviométrie de l'an 1950 à 2020

L'analyse de la figure 1, offre deux possibilités de lecture. D'une part, l'analyse de la droite de régression, et celle de la courbe d'autre part. La droite nous montre une réduction du volume de la pluviométrie au fil des années. La moyenne pluviométrique annuelle indiquée par cette droite est de 1391,8 mm. A partir de cette valeur moyenne, le volume des pluies régresse progressivement de -3,0593 mm par an, entre 1950 et 2020. Outre cette régression du volume des pluies qui n'est qu'un modèle permettant de montrer la tendance à la baisse de la pluviométrie, une autre réalité est observée. C'est la variation interannuelle de la hauteur des pluies. En effet, la hauteur des pluies augmente ou chute brusquement d'une année à l'autre. Cela perturbe profondément l'environnement de la production d'autant plus que l'écart entre l'année la plus pluvieuse (1957) et la moins pluvieuse (1983) est de 1178,6 mm. Ces résultats sont conformes à ceux de TOURE (2018).

La pluviométrie participe à la reconstitution de la retenue d'eau des barrages. Ainsi une réduction de la pluviométrie au fil des années peut influencer négativement le niveau d'eau des barrages, comme l'atteste le tableau 3.

Tableau 3. Appréciation du niveau d'eau dans les barrages pendant les quatre dernières années

Année	Appréciation du niveau d'eau dans les barrages	
	Lataha	Nouplé
2020	Insuffisant	Insuffisant
2021	Insuffisant	Insuffisant
2022	Insuffisant	Insuffisant
2023	Insuffisant	Insuffisant
2024	Suffisant	Suffisant

Au cours des cinq dernières années la quantité d'eau dans les deux barrages a atteint le bon niveau une seule fois. Cela en 2024. De l'an 2020 à 2023, le niveau d'eau est resté insuffisant dans les deux retenues.

Outre l'insuffisance du niveau d'eau dans le barrage, l'utilisation de l'eau au niveau des périmètres n'est pas optimale.

2.3. Un Comité de gestion des prises et d'entretien des canaux inorganisé et partiellement suivi

Après la construction des barrages, leur gestion a été laissée aux riziculteurs eux même. Sur chaque périmètre, le comité de gestion des prises et d'entretien des canaux veille au respect du calendrier de gestion de l'eau en faisant participer activement les producteurs aux opérations d'entretien du réseau d'irrigation et de drainage. L'objectif de faire participer tous les producteurs à ces opérations n'est souvent atteint, comme le montre le tableau 4.

Tableau 4. Estimation de la participation des producteurs à l'entretien des parcelles

Type d'entretien	Proportion des producteurs (%)		
	Lataha	Nouplé	Total
Entretien groupé des canaux	55	80	66,54
Entretien individuel	45	20	33,46
Total	100	100	100

Dans l'ensemble 66,54% des producteurs participent à l'entretien groupé du périmètre. Spécifiquement dans le périmètre de Nouplé, 80% des producteurs participent aux entretiens groupés des canaux d'irrigation contre 20% qui sont réticents. Dans le périmètre de Lataha, moins de riziculteurs s'intéressent aux entretiens collectifs des canaux. En effet, l'entretien collectif du périmètre a mobilisé 55% des producteurs de Lataha contre 45% qui se sont abstenus. Cette disparité est liée au niveau d'organisation du comité de gestion des prises et d'entretien des canaux.

Tous les enquêtés affirment que le comité de gestion d'eau ne fonctionne pas comme il se doit. Pourtant, les décisions liées à l'utilisation de l'eau doivent être prises lors des réunions organisées par le comité de gestion d'eau. Les entretiens du périmètre sont des actions d'intérêt commun souvent mal structurées et inorganisées, eu égard à la réticence de certains acteurs. Il n'est pas rare qu'il soit demandé à chaque riziculteur d'assurer l'entretien de sa parcelle et celle de portion du canal de dessert de l'eau qui passe devant sa parcelle. Le refus de participer à l'entretiens du périmètre est source de disfonctionnement et de délabrement des barrages rizicoles. Parmi les conséquences, on peut citer la mauvaise circulation de l'eau dans les périmètres due, en partie, à l'ensablement d'une part des périmètres rizicoles qui ne sont pas régulièrement curés et d'autre part à la congestion des canaux d'évacuation du trop plein d'eau dans les périmètres. Ces disfonctionnements provoquent deux situations désagréables à savoir la mauvaise circulation de l'eau dans certains compartiments du périmètre et l'incapacité des installations à retenir l'eau, qui traverse tout le périmètre aménagé échappant ainsi aux casiers rizicoles.

Créer de nouvelles ouvertures sur les digues en faveur de leurs parcelles fait partie des stratégies utilisées par certains producteurs pour contournement les difficultés hydriques causées par l'insuffisance et la mauvaise circulation de l'eau. Le tableau 5 montre la proportion des producteurs qui s'adonnent à l'ouverture irrégulière des digues en faveur de leur périmètre.

Tableau 5. Proportion des producteurs qui opèrent des ouvertures irrégulières sur les digues

Mode d'approvisionnement	**Proportion des producteurs (%)**		
	Nouplé	Lataha	Moyenne
Les canaux ordinaires (primaires, secondaires et tertiaires)	55,8%	53%	54,29
Ouvertures irrégulières	44,2%	47%	45,71
Total	100	100	100

Dans l'ensemble, presque la moitié des producteurs créent des ouvertures irrégulières sur les digues pour le ravitaillement de leur parcelle en eau. Avec respectivement une proportion de 47% et 44,2 %, ces producteurs sont plus nombreux à Lataha qu'à Nouplé. Les

disfonctionnements couplés à la réduction de la quantité d'eau dans les barrages sont par ailleurs une source de crise entre les riziculteurs. En effet, Certains producteurs se rendent nuitamment dans les périmètres pour détourner la circulation de l'eau en leur faveur et au détriment des parcelles voisines. En cas de sabotage d'un ou des plusieurs riziculteurs, un déséquilibre s'installe. Cela perturbe la circulation de l'eau et rendant vains les efforts des autres. Dans ce cas, ces paysans payent une amende, selon les textes. Le non-paiement de l'amende provoque souvent des conflits. Ces pratiques sont de nature à priver certaines parcelles d'eau ou rendent plus difficile leur ravitaillement.

En moyenne plus du quart (27,53 %) des parcelles de riz sont difficilement ravitaillés en eau. Ces parcelles sont plus nombreuses à Lataha qu'à Nouplé, avec des proportions respectives de 34 % et 20 %. En outre, les rendements moyens des trois dernières années sont insuffisants par rapport aux caractéristiques des variétés Wita 9 et NERICA cultivées sur ces périmètres, avec des statistiques moins faibles à Nouplé dont la moyenne des rendements est de 3,41 t/ha contre 2,51 t/ha à Lataha. La faiblesse des rendements, bien que liée à la mauvaise gestion de l'eau peut également s'expliquer par l'accentuation des variabilités pluviométriques interannuelles montrées plus haut. Par ailleurs, certaines pratiques culturales comme l'usage de semences non améliorées et le non-respect des normes de fertilisation par les riziculteurs peuvent affecter les rendements.

Conclusion

Au terme de cette étude, on retient que la pluviométrie du département de Korhogo est en régression depuis l'an 1950. Parallèlement, un manque d'organisation des producteurs dans l'entretien des canaux d'irrigation est noté sur les périmètres rizicoles de Lataha et Nouplé. Ces deux réalités indépendantes occasionnent des difficultés dans la maîtrise de l'eau. Pour contourner ces difficultés qui se rencontrent moins à Nouplé eu égard à une meilleure organisation du comité de gestion des prises et d'entretien des canaux, les digues sont fendues respectivement par 44,2% et 47% des producteurs à Nouplé et Napié, dans l'optique de détourner l'ordre d'écoulement normal de l'eau à leur profit. Ces pratiques provoquent un dérèglement de la circulation de l'eau qui influence négativement les rendements. En outre, l'objectif de deux cycles culturaux par an par production n'est atteint que partiellement.

Bibliographie

Brou Y. T., 2005 : Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire, Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, 332 pages.

Cecchi P., 2007 : L'eau en partage, Les petits barrages de Côte d'Ivoire, Paris, 2007, 302 pages.

Silué D., 2012 : Barrage hydro-agricole dans le nord de la Côte d'Ivoire à l'épreuve de la diffusion spéciale des innovations. International Journal of humanities and social sciences research, **5**, 63-70.

Oka A., 1982 : Irrigation des terres en Côte d'Ivoire. Rapport du conseiller économique et social de Côte d'Ivoire, 38 pages.

Ouattara D. K., 2012 : Analyse des activités post-récoltes du riz dans le département de Korhogo : Cas des périmètres de Nahoualakaha et Lataha. Mémoire de licence, Institut de Gestion Agropastorale (IGA) de l'Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo, Côte d'Ivoire, 39 pages.

Toure A., 2018 : Perturbation socio environnementale et développement rizicole : Cas de la Région du Poro, Thèse de doctorat, Université Alassane, Bouaké, 418 pages.

Silue P. D., 2012 : Impact socio-spatial des retenues d'eau dans le Nord de la Côte d'Ivoire : cas de la région des Savanes, Thèse de Doctorat, IGT. Université de Cocody (Abidjan), 330 pages.

CARTOGRAPHIE DES MUTATIONS DES USAGES DU SOL EN SAISON HUMIDE A PARTIR D'IMAGES SATELLITES MULTI SOURCES DU DEPARTEMENT DE SAKASSOU

Zamblé Armand TRA BI [1]

[1] *Université Alassane Ouattara, Département de Géographie, 01 BP V 18 Bouaké 01, trabiarmand@uao.edu.ci*

Résumé *: Le département de Sakassou est sujet à des mutations de ses systèmes de culture. Cependant, il demeure complexe de cartographier les cultures et leur dynamique. La cartographie des mutations de l'usage du sol vise à analyser les changements des systèmes culturaux entre 2015 et 2021. Pour réaliser l'étude, des images radars (Sentinel 1A, SRTM) et optiques (Landsat et Googles Earth) ont été exploitées. Un arbre de décision a été utilisé pour la cartographie des cultures. 14 classes ont été extraites selon les facettes topographiques. L'étude indique que les cultures sont de plus en plus organisées selon leur sensibilité au stress hydrique, avec une augmentation de 11 % des superficies des cultures vivrières surtout sur les facettes topographiques humides et une augmentation de 1% des cultures pérennes arbustives sur les facettes moins humides.*

Mots-Clés : *cultures, saison humide, images satellites, arbre de décision*

Abstract: ***Mapping of changes in land use during the wet season using multi-source satellite images from the sakassou department.*** *The Sakassou department is subject to changes in its cropping systems. However, mapping crops and their dynamics remains complex. The land use change mapping aims to analyze changes in cropping systems between 2015 and 2021. To carry out the study, radar (Sentinel 1A, SRTM) and optical (Landsat and Google Earth) images were used. A decision tree was used for crop mapping. 14 classes were extracted according to topographical facets. The study indicates that crops are increasingly organized according to their sensitivity to water stress, with an 11% increase in the area of food crops, especially on humid topographical facets, and a 1% increase in perennial shrub crops on less humid facets.*

Keywords: *crops, wet season, satellite images, decision tree.*

Introduction

Le centre de la Côte d'Ivoire dont fait partie le département de Sakassou est une zone de transition climatique entre le climat guinéenne au Sud et le climat soudanien de la zone des savanes au Nord. L'instabilité du régime climatique et les caractéristiques physiques de cet espace en font une zone dont le système cultural est basé traditionnellement sur les cultures vivrières. Le système de culture est traditionnellement basé sur l'igname avec pour cultures secondaires le manioc et l'arachide (Blanc-Pamard, 1979). Ce système est en mutation, principalement à cause des changements opérés dans le choix des cultures de rente. Ce département était, dans les années 1960-1980, un espace de production de café (partie forestière du département) et de coton (partie savanicole du département). Mais depuis le milieu des années 1980, ces cultures ont été abandonnées progressivement au profit de la culture de l'anacarde qui connait un développement spectaculaire à partir des années 2000 (Tra Bi *et al*., 2024). Cette mutation a des conséquences néfastes sur les systèmes de culture vivrière dont les superficies se réduisent progressivement en même temps que la durée des jachères (Dugué *et al*., 2002). Bien que les constats soient établis, il est difficile d'évaluer statistiquement et de façon cartographique ces mutations des usages des sols. La télédétection offre la possibilité de répondre à cette préoccupation. Cependant, la plupart des travaux réalisés en la matière en Côte d'Ivoire ont tendance à exploiter des images optiques (Tra Bi *et al*., 2015 ; Kangah *et al.,* 2016 ; Tra Bi *et al.,* 2024). L'inconvénient dans ces cas est que seule la saison sèche est cartographiée parce que la forte nébulosité de la saison humide constitue une entrave à l'acquisition d'images satellites optiques exploitables pour la cartographie. La présente étude est axée, dans un premier temps, sur une méthode de cartographie issue de la combinaison d'images optiques de la saison sèche et d'images radar de la saison des pluies. Dans un second temps, elle met en relief les mutations spatiales des usages du sol entre 2015 et 2021.

1. Données et méthode de l'étude

1.1. Présentation du département de Sakassou

Le département de Sakassou appartient à la région de Gbêkê située au centre de la Côte d'Ivoire. Au plan biophysique, c'est un espace de mosaïque forêt-savane où règne un climat de transition entre le climat guinéen (sud) et la zone soudanien (nord). Le régime pluviométrique est bimodal, avec une moyenne de 1200 mm par an. Le premier maximum pluviométrique saisonnier est atteint au mois de juin. Quant au deuxième, il s'opère au mois de septembre. Entre les deux maximas, il existe une légère récession pluviométrique saisonnière en juillet. En général, la saison humide s'étale d'avril à octobre, soit sept mois (Tra Bi *et al.* 2024). Ce département se situe ainsi dans la zone de transition entre le biome des forêts au sud et celui des savanes au nord. Son relief est un plateau de faible altitude dont la moyenne est de 250 mètres. Les pentes du relief sont en générale douces. Cependant, l'hydrographie est dense et appartient aux affluents du Bandama. Ces conditions biophysiques du département de Sakassou ont favorisé le développement d'une agriculture basée sur les cultures vivrières en général, et en particulier sur la culture de l'igname. La succession des cultures dans ce système traditionnel permet également le développement en deuxième année des cultures de manioc et de l'arachide. Les mutations récentes des systèmes de culture de la région ont également permis le développement des cultures de basfond notamment la riziculture et le maraîchage. En outre, la dégradation des conditions pluviométriques depuis les années 1970 a favorisé le développement de la culture de l'anacarde qui est une plante qui s'accommode aisément avec les longues saisons sèches. Bien que la culture du café et du cacao subsiste dans les écosystèmes forestiers du département, l'anacarde est aujourd'hui la principale culture de rente (Dugué *et al*. 2002).

1.2. Données de l'étude

Pour réaliser l'étude, des images radars et optiques ont été mobilisées. Il s'agit, pour le radar, des images Sentinel 1A des mois humides de juin, juillet, août de 2015 et de 2021 et du Modèle Numérique de Terrain SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). L'image Sentinel 1A est une image IW (Interferometric Wide Swath) de résolution spatiale de 10 m. Sa polarisation est VV+VH (Vertical Vertical + Vertical Horizontal). Les images des mois de juin-juillet-août ont été retenues parce qu'elles couvrent le mois du milieu de la saison culturale où l'ensemble des cultures saisonnières ont été mises en terre et sont en phase de croissance ou de maturation. Pour les images optiques, les données Landsat et des captures des vues de très haute résolution spatiale de Google Earth ont été utilisées. L'image Landsat date du 14 janvier 2021 (path 197 et row 55). Sa résolution spatiale est de 30 m. C'est une image de la saison sèche qui est utile dans le cas présent pour délimiter les zones humides. Quant à l'image Google Earth, elle permet d'observer avec plus de précision les limites des localités, afin que celles-ci ne soient pas confondues aux sols dénudés. C'est donc une image de résolution spatiale métrique. En plus des images satellites, des relevés GPS des types d'utilisation du sol ont été faits sur le terrain.

1.3. Méthode de traitement des données

La cartographie des types d'usage du sol par télédétection s'est basée sur la méthode de classification par arbre de décision (figure 1). Cette méthode permet d'extraire de façon raisonnée et successive des classes d'utilisation du sol en se basant sur les caractéristiques particulières de réflectance des ondes électromagnétiques ou de rétrodiffusion des signaux selon les bandes des images. Une étape de prétraitement des images Sentinel et Landsat a été réalisée. Il s'agit :

- des corrections radiométriques et géométriques ;
- de la fusion des trois images de juin-juillet-août en une seule image représentant la moyenne de la rétrodiffusion des types d'usage du sol en saison humide ;

- de l'extraction des zones humides et des forêts à partir de l'image Landsat. Pour cela, l'indice NDVI a été calculé et une segmentation des valeurs d'indice a permis de créer deux images binaires, l'une représentant les zones humides et l'autre représentant les formations arborées, surtout forestières. Cette dernière se distingue nettement en saison sèche, parce que les formations graminéennes s'assèchent à cette période de l'année ;

- de la correction du MNT SRTM en comblant par interpolation les pixels vides. Le MNT a servi à calculer l'Indice de Position Topographique. Cet indice permet de classifier la topographie du département en facettes. Ainsi, l'usage du sol selon la position topographique peut être déterminé ;

- de la vectorisation des localités de l'image Google Earth et sa transformation en images binaires.

Pour le traitement des images, l'arbre de décision est résumé à la figure 1. 14 classes d'utilisation du sol ont été déterminées au départ. Pour cela, ont d'abord été extraits, les principaux types d'occupation du sol (zones humides, cultures vivrières, arboriculture et forêt, jachère et savane, localités). À ces types d'occupation du sol ont été appliqués, d'une part, des critères de pentes à travers l'image des facettes topographiques, et d'autre part, les images binaires des forêts, des zones humides et des localités afin d'affiner les classes.

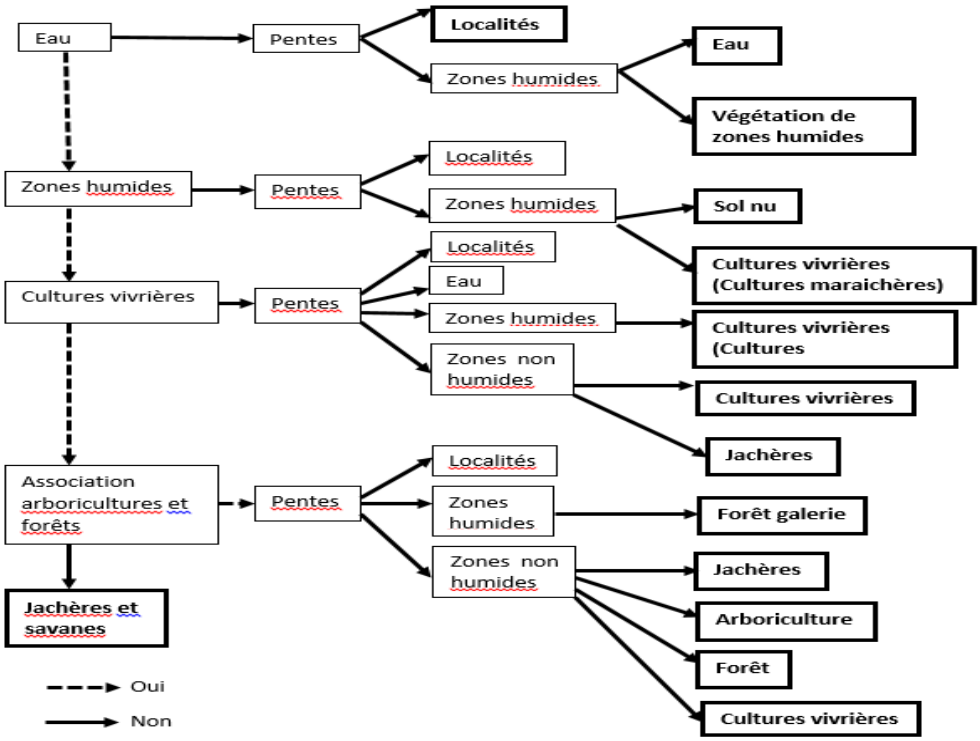


Figure 1. Schéma simplifié de l'arbre de décision de la classification des images satellite de l'étude

Ces 14 classes ont ensuite été regroupées 10 pour en extraire les statistiques des superficies. Certaines classes ont été fusionnées, soit pour en réduire la confusion, soit pour faciliter les statistiques. Par contre, la carte de l'utilisation du sol présente l'ensemble des classes en combinant les classes de localité et de sol nu.

2. Résultat de l'étude

2.1. Un maintien du système de culture vivrière

Le tableau 1 résume les statistiques de l'occupation et de l'usage du sol dans le département de Sakassou. Trois observations majeures en découlent. Ce sont en premier lieu la dominance du système de culture vivrière ; en deuxième lieu la stagnation du système de culture pérenne d'exportation ; et en troisième lieu la réduction progressive des surfaces de jachère.

En effet en 2015, l'ensemble des cultures vivrières occupe une superficie de 84 755 ha correspondant à 45% de la surface du département. En 2021, cette superficie passe à 95 330 ha, soit 51% de la superficie du département de Sakassou. En sept années, 10 575 ha de cultures vivrières ont conquis les terres cultivables. De façon détaillée, la majorité des surfaces en expansion est conquise dans les basfonds et les bas de versant. Ces deux facettes topographiques regroupent respectivement 63 420 ha et 69 460 ha en 2015 et 2021. En taux d'occupation du département, ces cultures vivrières dans les basfonds et les bas de versant ont des proportions de 34% en 2015 et 37% en 2021. Il s'agit surtout des cultures maraichères et de la riziculture de basfond. Sur les hauts de versant et les sommets de plateau, la proportion des cultures vivrières reste modeste (9% en 2015 et 11% en 2021).

Le tableau 1 indique également que les cultures pérennes d'exportation ont connu une augmentation très faible. La dynamique spatiale est proche d'une stagnation des surfaces cultivées. Les superficies sont passées 21 471 ha en 2015 (11%) à 22 235 ha en 2021 (12%). Ces cultures sont majoritairement des anacardiers qui occupent de plus en plus les hauts de versant et les sommets de plateau.

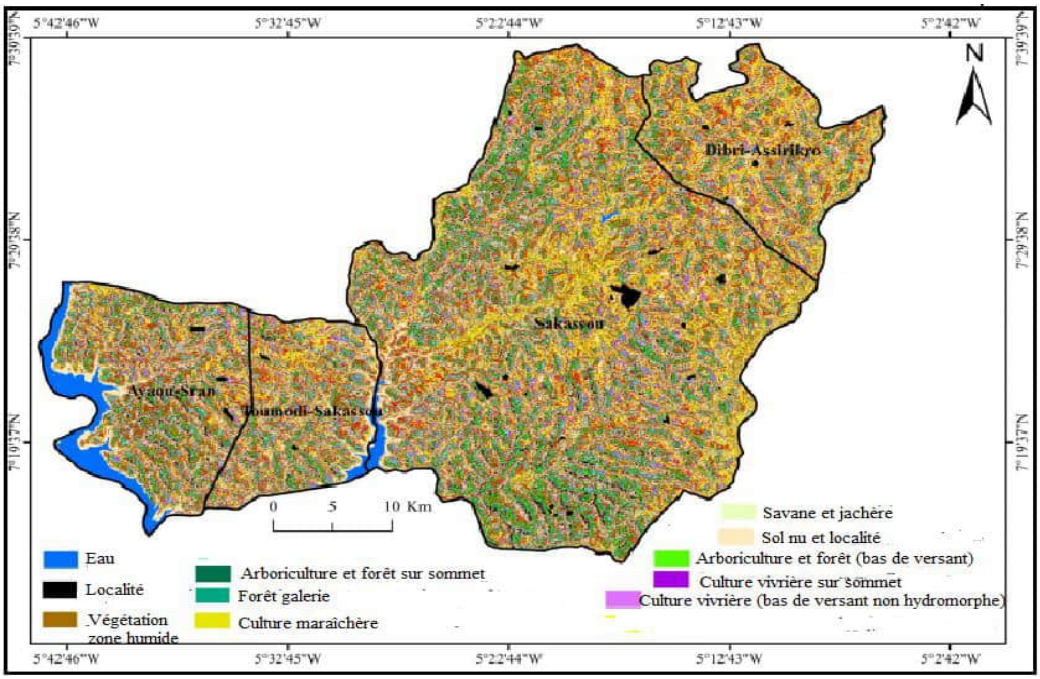
Tableau 1. Statistiques de l'usage du sol dans le département de Sakassou de 2015 à 2021

	2015		**2021**	
Type d'usage du sol	**Superficie (ha)**	**Proportion (%)**	**Superficie (ha)**	**Proportion (%)**
Eau	5108	3	4442	2
Sol nu et localité	16561	9	17200	9
Végétation de zone humide	9765	5	7537	4
Jachère et savane	39991	21	33682	18
Culture maraîchère	31710	17	38903	21
Forêt Valérie	10599	6	7824	4
Culture vivrière (bas de versant non hydromorphe)	34402	18	37750	20
Arboriculture et forêt (bas de versant)	13211	7	8906	5
Cultures vivrières (Haut de versant et sommet)	18643	10	18677	10
Arboriculture et forêt (haut de versant et sommet)	8260	4	13329	7
Total	188255	100	188255	100

Le troisième constat majeur est une diminution des surfaces de jachère ainsi que celle des forêts galeries. Cette regression des superficies a sans doute été faite au profit de l'expansion des cultures vivrières et des cultures pérennes. La superficie des jachères a été réduite de 8 537 ha représentant 4%.

2.2. La forêt, un écosystème de culture pérenne d'exportation

La figure 2 indique que les cultures pérennes d'exportation (arboriculture et forêt) se localisent en majorité dans les sous-préfectures dominées par la végétation de forêt semi décidue.



Source: Sentinel 1A / SRTM / Google Earth Réalisation: Tra Bi Z. A. 2021

Figure 3. Carte d'usage du sol dans le département de Sakassou en 2021

Ce sont les sous-préfectures d'Ayaou-Sran, Toumodi-Sakassou, le Sud et le Nord-Ouest du département de Sakassou. Il s'agit précisément de deux types de cultures pérennes. Ce sont, d'une part, les cultures de café et de cacao réinstallées sur d'anciennes jachères et des bas de versant des forêts galeries défrichées. D'autre part, la culture de l'anacarde occupe de plus en plus d'espace en milieu forestier à longue saison sèche et en milieu de savane (écosystème naturel de cette culture).

3. Discussion

Le tableau de la matrice de transition de l'évolution de l'utilisation du sol entre 2015 et 2021 à une dimension qui ne permet pas de l'insérer dans cet article scientifique. Toutefois, les principaux résultats statistiques de l'usage du sol de 2015 et 2021 résument l'essentiel des enseignements à retenir sur la dynamique des systèmes de culture dans le département de Sakassou. Concernant ces cartes, leur niveau d'exactitude est de 80%. Plusieurs sources d'erreur peuvent être notées. Elles sont liées à la difficulté de distinction et de séparation de certains types d'usage du sol, à l'association des cultures sur une même parcelle, à la confusion persistante entre les cultures pérennes et certaines vieilles friches, à la petite taille des surfaces cultivées dont la moyenne est inférieure à l'hectare (Dugué *et al.* 2002; GSARS, 2017). Cette confusion conduit généralement de nombreux auteurs à travailler sur les agrosystèmes plutôt que sur les cultures individuellement. Cependant une solution d'amélioration de ces cartes serait d'appliquer une méthode de classification orientée objet avec un algorithme d'intelligence artificielle.

Concernant les résultats de l'étude, ils confirment les mutations des systèmes de production observés par certains auteurs. Dugué et *al.* (2002; 2003), Blanc-Pamard (1979) ont mené des recherches qui confirment que le centre de la Côte d'Ivoire a un système de production basé essentiellement sur les cultures vivrières, principalement la culture de l'igname. Ces auteurs notent par ailleurs que l'intérêt grandissant des paysans pour les cultures de basfond est récent. Cela peut s'expliquer par des raisons d'adaptation aux effets néfastes des sécheresses, par la pression foncière et par les gains financiers générés par ces cultures (Brou et Chaléard, 2007). Les cultures pérennes quant à elles connaissent un nouveau regain d'intérêt dans le département

de Sakassou à cause de la déforestation intense qui a conduit à la saturation des systèmes de production du café et du cacao dans les régions forestières de l'Ouest et du Sud-Ouest (la boucle du cacao). Il s'opère donc un retour sensible sur les espaces des vieilles jachères dans les régions de départ comme le centre de la Côte d'Ivoire (Léonard, 1997 ; Brou et *al*., 2005). En outre, le fait que les cultures soient positionnées en majorité sur les hauts de versant et sur les sommets de plateau interroge, car ces espaces ont très souvent des sols peu profonds. Cela peut conduire à terme à une durée de vie plus courte de ces cultures pérennes d'exportation.

Conclusion

La cartographie de l'usage du sol dans le département de Sakassou entre 2015 et 2021, à travers la combinaison de la télédétection optique et radar en saison humide, fournit des résultats satisfaisant à 80%. Cette cartographie aboutit aux résultats selon lesquels les systèmes de culture du département de Sakassou demeurent essentiellement tournés vers la production de vivrier à environ 50%. La dynamique spatiale des cultures vivrières montre leur forte expansion dans les basfonds et sur les bas de versant. Quant aux cultures pérennes, leur taux d'occupation du département demeure modeste (11-12%). La structuration topographique de ces cultures pourrait être une adaptation progressive aux aléas pluviométriques dans le département.

Bibliographie

Blanc-Pamard C., 1979 : *Un enjeu écologique différentiel : les communautés rurales du contact forêt-savane au fond du « v » Baoulé (Côte d'Ivoire)*. ORSTOM, 316 pages.

Brou Y. T., Akindes F., Bigo S., 2005 : La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles, *Cahiers Agricultures,* vol. 14, **n° 6**, 533-540.

Brou Y. T. et Chaléard J-L, 2007 : Visions paysannes et changements environnementaux en Côte d'Ivoire, *Annales de géographie*, **n° 653**, 65 à 87.

Dugué P., Koné F. R., Koné G., 2002 : *Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricoles des savanes de Côte d'Ivoire : conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis*, Actes du Colloque, Garoua, Cameroun. 12 pages.

Dugué P., Koné F. R., Koné G., 2003 : Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricole des savanes de Côte d'Ivoire conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles, *Cahiers Agricultures*, **12**, 267-73.

GSARS.2017 : *Manuel sur l'application de la télédétection aux statistiques agricoles. Manuel de la Stratégie mondiale* : Rome, FAO, 257 pages.

Kangah A., Konan K. E., Alla D. A., Ouattara M. A., 2016 : Cartographie par télédétection et analyse de l'influence Des activités agricoles dans le terroir villageois odjoukrou, *Regardsud*, **n°2**, 60-74

Léonard, E., 1997, *Transformations et reproduction d'un système agraire pionnier en Côte d'Ivoire : Après la forêt, quelle agriculture* ? *In* thèmes et variations : nouvelles recherches rurales au sud, Paris, ORSTOM, 63-88.

Tra Bi Z., Brou Y.T., Mahé G., 2015 : Analyse par télédétection des conditions bioclimatiques de végétation dans la zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire : casdu « V » Baoulé, *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie,* 78-83.

Tra Bi Z. A., Djako A., Dembélé M., 2024 : Adaptation hydrique des cultures annuelles et pluriannuelles a la topographie dans le bassin versant du Bandama Blanc de la région de Gbêkê, *Le Journal des Sciences Sociales* **n°27**, 145-157.

VULNERABILITE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE LA LENTILLE DE TERRE ET DU MAÏS A LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE DANS LES ARRONDISSEMENTS D'ALLAHE ET DE HOUNGOME (COMMUNE DE ZA-KPOTA AU BENIN)

Guy Cossi WOKOU et Waïdi SEYDOU

Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université d'Abomey-Clavi 01 BP 526, Cotonou 01 ; a; E-mail : segla1645@gmail.com

Résumé : *La présente recherche étudie la vulnérabilité du système de production de la lentille de terre et du maïs à la variabilité pluviométrique dans les arrondissements d'Allahé et de Houngomè. Pour atteindre cet objectif, les données climatologiques de 1988 à 2017, production agricole et socio anthropologique ont été utilisées. Au total 341 ménages ont été interrogés. Les résultats ont montré que le Bilan climatique sur la période présente 9 mois déficitaires. De plus, la température est en nette augmentation avec une hausse de 1,4 ° C ce qui impacte la production de la lentille de terre et du maïs. Les années de pluies abondantes facilitent l'accroissement de la productivité du maïs (964 kg/ha avec 1403,8 mm) tandis qu'elles inhibent la productivité de la lentille de terre. Ainsi, plusieurs stratégies d'adaptation ont été développées par les producteurs pour réduire leur vulnérabilité.*

Mots clés : *Allahé et Hougomè, lentille de terre, maïs, variabilité pluviométrique.*

Abstract : Vulnerability of the lentil and maize production system to rainfall variability in the Allahe and Houngome districts (Za-Kpota Commune in Benin). *This research examines the vulnerability of the lentil and corn production system to rainfall variability in the districts of Allahé and Houngomè. To achieve this objective, climatological, agricultural production, and socio-anthropological data from 1988 to 2017 were used. A total of 341 households were surveyed. The results showed that the Climate Balance over the period shows 9 months of deficit. Furthermore, temperatures are rising sharply, with an increase of 1.4°C, which impacts lentil and corn production. Years of abundant rainfall facilitate increased corn productivity (964 kg/ha with 1403.8 mm) while inhibiting lentil productivity. Thus, several adaptation strategies have been developed by producers to reduce their vulnerability.*

***Keywords** : Allahé and Hougomè, lentil, corn, rainfall variability.*

Introduction

En Afrique l'agriculture occupe une place centrale et stratégique. Elle représente 23 % du PIB du continent et emploie 55 % de la population active (Akindélé., 2014). En 2018, 53,1% de la population africaine était en situation d'insécurité alimentaire modérée ou sévère (FAO, 2007). Au Bénin, la satisfaction des besoins vitaux passe d'abord par l'agriculture. Ce secteur demeure le secteur économique par excellence dans la plupart des régions. C'est elle qui détermine le niveau et les conditions de vie de la majorité de la population (Dounias et Jouve, 2002). Le pays étant essentiellement agricole (Kissira, 2005), se trouve confronté aux difficultés liées à l'impact de la variabilité pluviométrique sur les systèmes de production. En effet, les paramètres climatiques sont des facteurs déterminants dans la production agricole. Parmi ces facteurs, les précipitations représentent le paramètre le plus important qui conditionne les différents systèmes de production agricole.

Dans les arrondissements d'Allahé et de Houngomè, la lentille de terre est utilisée par la population pour prévenir et corriger les carences en protéines dans leur alimentation. Sa consommation est très appréciée, réservée pour les jours de réjouissance et servi aux hôtes de marque (Kouélo et al., 2020). Les arrondissements d'Allahé et de Houngomè sont situés au sud (Allahé) et au sud-ouest (Houngomè) de la commune de Za-Kpota (l'une des neuf communes du département du Zou) au sud du Bénin. Ils sont plus précisément entre 7°06'00'' et 7°15'00''de latitude nord et 2°06'36'' et 2°19' longitude Est (Figure 1).

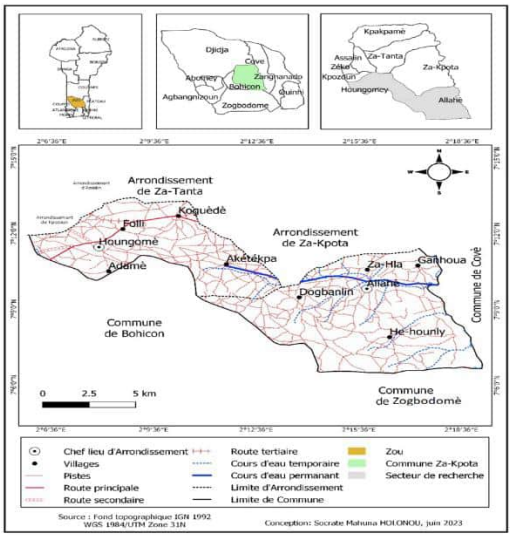


Figure 1. Situations géographique et administrative des arrondissements d'Allahé et de Houngomè

Le secteur de recherche est limité au nord par les arrondissements de Za-Kpota et de Za - Tanta, au nord-ouest par les arrondissements de Kpozoun et de Assanlin, à l'ouest par Bohicon au sud par l'arrondissement de Koussoukpa (Zogbodomey) et à l'est par la commune de Covè. Il est important d'étudier la vulnérabilité du système de production de la lentille de terre et du maïs à la variabilité pluviométrique dans les arrondissements d'Allahé et de Houngomè.

1. Données et méthodes

Un questionnaire portant des questions sur la vulnérabilité du système de production de la lentille de terre et du maïs à la variabilité pluviométrique a été utilisé. La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de Schwartz (1995) : $N' = z\alpha^2 \times p\,q\,/i^2$, avec N' = taille de l'échantillon ; zα=1,96; p=n/N, représentant la proportion des ménages des villages ciblés (n) par rapport au nombre de ménages de la Commune (N). Au total, 361 personnes ont été enquêtées. Il faut noter que les chefs de ménage ont été considérés, d'où un ménage est égal à une personne. Les questionnaires, les guides d'entretien et les grilles d'observation ont fait l'objet d'un dépouillement. Le traitement et l'analyse des résultats ont été faits par le logiciel IBM SPSS Statistics 21 et les figures et tableaux par le tableur Excel.

2. Résultats et discussion

2.1. Vulnérabilité de la production de la lentille de terre et du maïs à la variabilité pluviométrique

2.1.1. Perceptions de la population de l'impact de la variabilité climatique sur l'agriculture

Dans les arrondissements d'Allahé et de Houngomè, 76,87 % des populations sont agricoles (INStaD, 2013, p. 3). Ces dernières expriment leurs perceptions de l'impact de la variabilité climatique sur l'agriculture. Un fort harmattan de décembre à janvier puis une chaleur ardente notée au mois de février précédait théoriquement la saison des pluies. Cet harmattan qui dépose une épaisse couche de poussière qui contribue à fertiliser le sol, annonce une pluie abondante. C'est ce à quoi on assistait par le passé. Les paysans estiment que si ces théories d'antan ne sont plus vérifiées, cela est due à la fois aux facteurs naturels, aux activités anthropiques et dans une certaine mesure aux punitions divines. En clair, 10 % pensent que les contraintes climatiques sont une punition des dieux vu que la jeunesse ne respecte plus les coutumes. Soixante-dix pourcent (70 %) estiment que la déforestation, le défrichage et les cultures itinérantes sur brûlis ont amplifié les effets de ces contraintes climatiques, ce qui se répercute sur la production

agricole. A cet effet, l'augmentation de la température ces trente (30) dernières années témoignent de la nette tendance de l'évolution du climat avec pour conséquence directe, l'accroissement des gaz à effet de serre, l'augmentation de l'évaporation et de l'évapotranspiration, le jaunissement et le flétrissement des cultures pratiquées dans les champs.

2.1.2 Evolution des rendements

La variabilité des paramètres climatiques associé à la dégradation des terres agricoles ont des conséquences néfastes sur les rendements de la lentille de terre. La figure 2 montre l'évolution des rendements de la lentille de terre en fonction des précipitations.

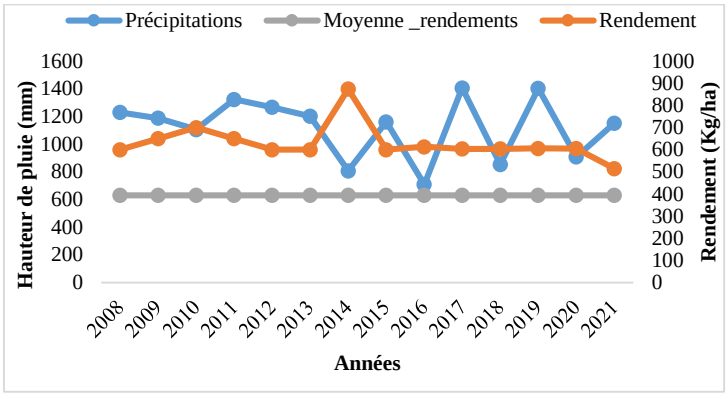


Figure 2. Evolution des rendements de la lentille de terre en fonction de la pluviométrie

***Source** : ATDA, Zou 2023*

L'analyse de la figure 2 révèle deux tendances. Ainsi, la première présente une évolution des rendements en fonction de la diminution des précipitations de 2008 à 2015. Il est constaté donc qu'en 2010 et 2014, où les précipitations ont baissées, le rendement de la lentille de terre a augmenté. De la même manière, qu'en 2008, 2011 et 2015 où la précipitation s'est accrue, les rendements de la lentille de terre ont baissés. Les années de référence sont 2008 et 2014. En 2014, des précipitations de 807,8 mm ont permis d'avoir un rendement de 874 Kg/ha de lentille de terre pendant qu'en 2008, 1230 mm de pluie ont permis d'en obtenir 600 Kg/ha. La deuxième tendance s'observe entre 2016 et 2020 où il est constaté une évolution constante du rendement de la lentille de terre pendant que les précipitations fluctuaient d'année en année. Outre l'évolution des rendements de lentille de terre, celle du maïs dans le période de 2008 à 2021 est analysée. La figure 3 présente l'évolution des rendements du maïs en fonction des précipitations

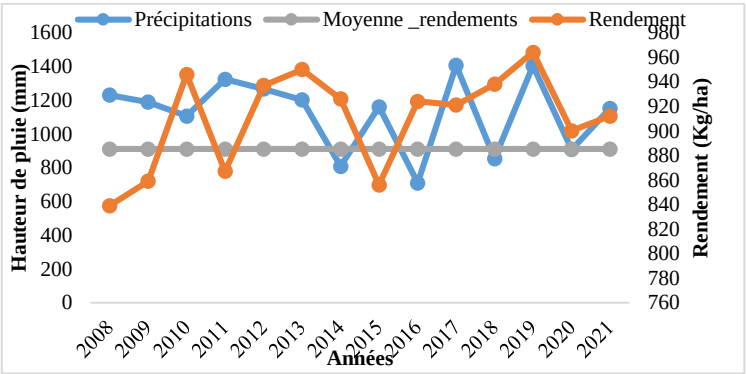


Figure 2. Evolution des rendements de maïs en fonction de la pluviométrie

***Source** : ATDA, Zou 2023*

Il ressort de l'analyse de la figure 2 que le rendement de la production du maïs évolue en fonction des hauteurs de pluies. La plus haute valeur du rendement est observée en 2019 avec 964 Kg/ha avec une précipitation de 1403,8 mm pluie. Le rendement minimal observé est de

839 Kg/ha avec 1230 mm de pluie. Face à ces contraintes, les populations ont développé des stratégies de résilience.

2.1.3 Stratégies endogènes d'adaptation des producteurs

Afin de résister à la variabilité pluviométrique, les producteurs des arrondissements d'Allahé et de Houngomè ont développé des stratégies d'adaptation.

✓ ***Recours à la méthode de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols (GIFS)***

Cette méthode consiste en la maximisation de l'utilisation des sources de fertilisation organique et la minimisation des pertes en éléments nutritifs. Les producteurs adoptent comme astuce de fertilisation des sols, l'enfouissement des résidus de récoltes et la matière organique issue du désherbage. Ce potentiel organique jadis brûlé constitue désormais une litière organique qui contribue à la restauration des sols. Le fait que les déchets ne sont plus brûlés contribue au maintien des éléments nutritifs du sol. La matière organique en décomposition contribue au maintien de l'humidité du sol. Cette technique est employée par 32% des producteurs.

✓ ***Culture en couloirs***

Les producteurs associent les agrumes aux productions annuelles dans un style de culture en couloirs. Cette stratégie consiste à semer dans les couloirs des champs d'orangers, la lentille de terre, le maïs ou l'arachide. Cela est bénéfique pour la culture annuelle car les orangers fournissent de la fraîcheur en temps de sécheresse. Cette technique culturale est utilisée par 84% des producteurs.

✓ ***Semis échelonnés***

Il s'agit ici d'une technique qui consiste à morceler l'espace cultivable en plusieurs parties et à faire les semis dès les premières pluies et ce par décade. Cette technique permet d'avoir sur un même domaine, la même espèce mais dont la taille n'est pas la même. Cette stratégie est en pleine expansion dans le secteur d'étude. Il est employé par 25% des producteurs Le tableau 1 présente le calendrier indicatif des semis échelonnées selon la périodicité décadaire.

Tableau 1 : Calendrier indicatif des semis échelonnées selon la périodicité décadaire

Décades	Mars	Avril
1		2ème tranche de semis
2		3ème tranche de semis
3	1ere tranche de semis	

***Source** : Enquête de terrain, mai 2023*

Le tableau 1 présente les semis échelonnés suivant la périodicité décadaire qui prend en compte trois décades généralement réalisés. L'avantage de cette pratique est qu'au bout du compte, le producteur s'en sort généralement avec une récolte plus ou moins conséquente car si la sécheresse vient à empêcher les semis d'une décade de pousser normalement, les semis des autres décades pousseront inévitablement.

✓ ***Adoption de nouvelles variétés de cultures***

Pour s'adapter à la variabilité pluviométrique et réduire son incidence sur la production de la lentille de terre et du maïs, les producteurs ont remplacé les variétés de maïs à cycle long par celui à cycle court. Les nouvelles variétés utilisées par les producteurs de maïs sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Liste des nouvelles variétés de cultures

Spéculation	Variétés	Genre
Maïs	EVDT	Cycle court
	Synee 2000	Cycle court

Source : Cellule Communale ATDA Pôle 5, Za- Kpota, Mai 2023

Le tableau 2 présente deux variétés de maïs ont été adoptées par les paysans en fonction de leurs exigences hydriques, leur cycle court et de leur capacité à faire face à la variabilité pluviométrique. Ces deux variétés s'avèrent plus résilientes que celles cultivées alors.

✓ ***Mise en valeur des bas-fonds***

Les bas-fonds dans le secteur de recherche reçoivent majoritairement deux cultures : le riz et le maïs. Huit pourcent (8 %) des producteurs cultivent le mais dans aux alentours des affluents Zou du fleuve Ouémé. La photo 1 montre un champ de maïs dans un bas-fond.



Photo 1 : Production de maïs dans les abords de l'affluent Zou du fleuve Ouémé

Prise de vue : Holonou, Mai 2023

La photo 1 montre un champ de maïs dans le bas- fond bien épanoui. Ceci entraîne Ainsi, une hausse des rendements par rapport au maïs cultivé dans les zones non inondables. Ce qui prouve que le bas-fond est un endroit idéal en temps de déficit pluviométrique.

✓ ***Association de cultures***

Cette technique s'observe par endroit quoiqu'elle ne soit pas très développée dans les arrondissements. La planche 2 montre quelques associations de maïs avec d'autres cultures.



Planche 1 : Association de maïs au vouandzou dans l'arrondissement de houngomè et de maïs à l'arachide

Prise de vue *: Holonou, Mai 2023*

L'observation de la planche 1 présente l'association du maïs avec le voandzou et l'arachide. Il est à noter que ces cultures associées au maïs sont toutes des cultures de terre (qui produisent leurs fruits dans la terre) et donc ne nécessite pas les mêmes apports en nutriments du sol que le maïs. Cette technique classique est encore pratiquée par 38% des producteurs.

2.2. Discussion

La présente recherche a permis d'étudier la vulnérabilité du système de production de la lentille de terre et du maïs à la variabilité pluviométrique dans les arrondissements d'Allahé et de Houngomè. En effet, les résultats ont montré que le Bilan climatique sur la période présente 9 mois déficitaires. De plus, la température est en nette augmentation avec une hausse de 1,4 ° C ce qui impacte la production de la lentille de terre et du maïs. Ces résultats concordent avec les travaux de Soglo, Amegnaglo et Akpa (2018) qui trouvent que les producteurs de maïs au Bénin, perçoivent une hausse de la température moyenne, une baisse des précipitations et du nombre de jours de pluies. Ils notent aussi une augmentation moyenne des incidences de sécheresse pendant la saison des pluies. De plus, Djogbénou (2008) abonde dans le même sens et signale que les paysans adoptent les systèmes culturaux de nos jours en fonction de l'ampleur de l'effet des contraintes climatiques au cours des saisons.

Conclusion

Au terme de cette recherche, il faut retenir que les rendements sont liés d'une part à la variabilité et à l'inégale répartition spatio-temporelle des pluies, la fréquence des pauses sèches pluviométriques, et d'autre part à des facteurs structurels liés à la mise en œuvre de stratégies inadaptées. En effet, le manque de fertilisants chimiques ou organiques conjugué aux effets de la baisse de la fertilité des sols constituent des contraintes réelles pour la production de la lentille de terre et du maïs dans les arrondissements d'Allahé et de Houngomè. Le niveau des rendements dans le secteur d'étude est bas et fluctue d'année en année compte tenu des fluctuations pluviométriques qui sont-elles mêmes, liées à la variabilité climatique. Face à ces contraintes, les producteurs ont développé plusieurs stratégies.

Bibliographie

Akindélé A. A., 2014 : Savoirs ethno climatologiques en pays wemɛ et hɔli : fondements et implications économiques et socio- culturelles. Thèse présentée pour l'obtention du Diplôme de Doctorat Unique de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 234 pages.

Djogbénou F., 2008 : Impacts environnementaux des stratégies d'adaptation de l'agriculture à l'évolution du climat dans le département des Collines. Mémoire de Maîtrise. UAC/FLASH/DGAT. 86 pages.

Dounias I. et Jouve P., 2002 : « Les systèmes de culture à base de couverture végétale et semis direct en zones tropicales », Études et travaux du CNEARC, n° 19, Montpellier PDF : pp 7- 21

FAO 2007 : Adaptation aux changements climatiques centrée sur les personnes: intégration des questions de parité. Rome, Italie, 284 pages.

Kissira A., 2005 : Activités agricoles et dégradation des ressources naturelles dans la commune de Ségbana (Bénin) : Impacts sur la santé des populations, EDP- FLASH- Université d'Abomey-Calavi (Bénin) - DEA Gestion de l'Environnement, 110 pages.

Kouelo A. F., Houngnandan P., Azontonde H. A., 2020: Production de Doyiwé (lentille de terre, Macrotyloma geocarpum) par le billonnage dans le Département des Collines au centre du Bénin. Dépôt légal n° 12016 du 04/02/2020, 1er trimestre, Bibliothèque Nationale du Bénin. ISBN 978 - 99982 - 58 - 08 – 2. 12.

Schwartz D. 1995 : Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. 4è édition, Edition médicinale, Paris, 314 pages.

Soglo Y., Amegnaglo C.et Akpa A., 2018 : Analyse de la perception des changements climatiques par les producteurs de maïs au Bénin, Cahier du CBRSI, 12 pages.

VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET PRODUCTION AGRICOLE DANS LE DEPARTEMENT DE NIORO DU RIP (SENEGAL)

Madiop YADE

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université Cheikh Anta Diop (UCAD), BP 5005, Dakar, Sénégal madiop.yade@ucad.edu.sn

Résumé : *Cette étude vise à analyser l'influence de la variabilité pluviométrique sur la production agricole dans le département de Nioro du Rip. Pour se faire, nous avons recueilli des données climatiques au niveau de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal (ANACIM). Les données démographiques ont été fourni par l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) tandis que les données agricoles proviennent des Services Départementaux du Développement Rural (SDDR). Les résultats montrent toute la complexité qui existe dans la relation pluviométrie et rendement agricole. Dès fois il y'a un rapport logique entre les deux, mais dans la plupart des cas le rendement n'est pas proportionnel à la pluviométrie. Cela montre qu'il y'a d'autres facteurs qui influent beaucoup plus sur le rendement agricole que la quantité précipitée.*

Mots clés : *Variabilité pluviométrique, production agricole, Nioro du Rip*

Abstract : Rainfall variability and agricultural production in the department of Nioro du rip (Senegal). *The aim of this study is to analyse the influence of rainfall variability on agricultural production in the department of Nioro du Rip. Climatic data were collected from the Senegal's National Civil Aviation and Meteorology Agency (ANACIM). Demographic data was provided by the National Agency for Statistics and Demography (ANSD), while agricultural data came from the Departmental Services for Rural Development (SDDR). The results show the complexity of the relationship between rainfall and agricultural yield. Sometimes there is a logical relationship between the two, but in most cases yield is not proportional to rainfall. This shows that there are other factors that have a much greater influence on agricultural yield than the amount of rainfall.*

Key words : *Rainfall variability, agricultural production, Nioro du Rip*

Introduction

La variabilité pluviométrique est un phénomène qui mérite d'être étudié au vu de son importance et de son ampleur. Elle est l'un des effets majeurs du changement climatique (Gueye M. 2013) et son influence se voit notamment sur la production agricole mais aussi dans d'autres domaines comme l'élevage.

Au Sénégal, en plein cœur du bassin arachidier, le département de Nioro du Rip subit elle aussi les effets de la variabilité pluviométrique. Situé entre 13° 45' 00'' de latitude Nord et 15° 48' 00'' de longitude Ouest (carte 1), le plus grand département de la région de Kaolack en termes de superficie avec 2302 Km², Nioro du Rip est l'une des zones les plus importantes des secteurs agricole et économique du pays. En effet, appartenant au domaine climatique nord-soudanien continental (Yade M. 2016), le département de Nioro est doté d'un milieu physique à fort potentiel agricole avec la prédominance de la culture de l'arachide et des céréales telles que le mil et le maïs.

Ainsi, Nioro du Rip est une zone fortement rurale dont la principale source de revenue est l'agriculture. Les vastes étendues de terres arables et les sols généralement favorables à l'agriculture sont des avantages qui font de celle-ci une activité très plébiscitée. Néanmoins, cette activité séculaire dépend entièrement de la pluviométrie qui est caractérisée ces dernières décennies par une forte variabilité avec des conséquences généralement négatives sur l'agriculture et ses rendements. Or, les productions d'arachide, de mil et de maïs ont un poids important sur la sécurité alimentaire, le commerce et l'économie du pays. Ce qui fait que la population, estimée à 512 608 habitants en 2023 et majoritairement agricole (ANSD, 2024), essaie de s'adapter au fil du temps à des réalités climatiques assez capricieuses.

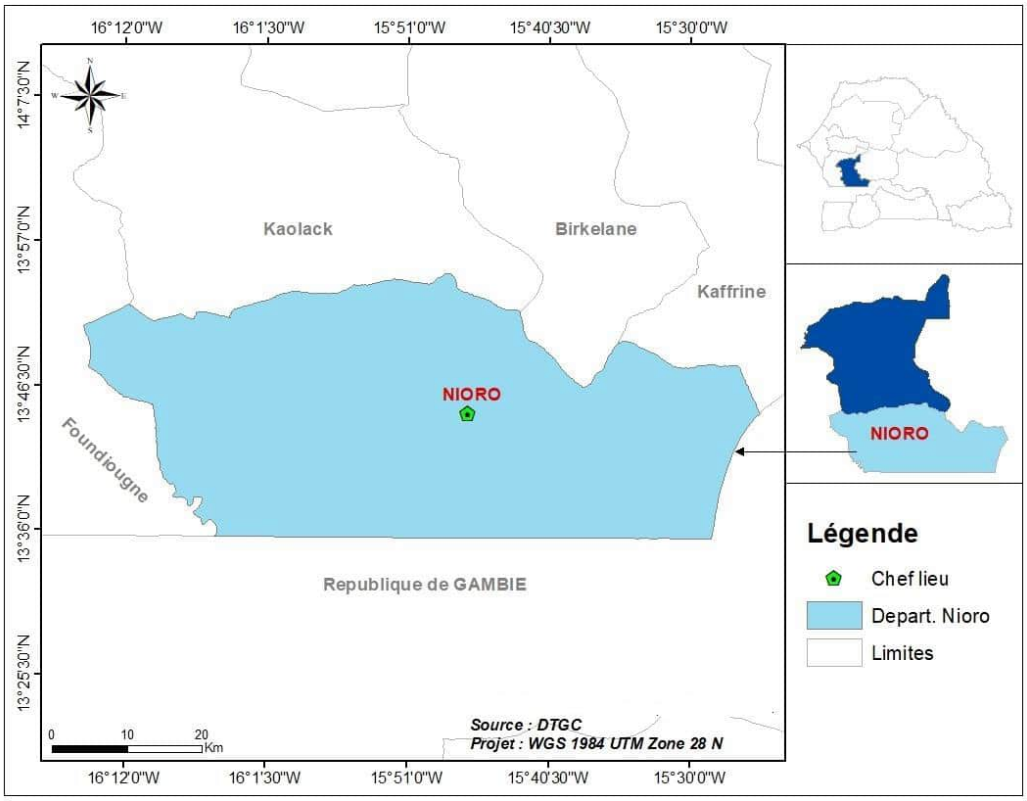


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude

1. Données et méthodes

Les données pluviométriques analysées dans cette étude sont celles de la station de Nioro du Rip et couvrent la période 1931-2020, soit 90 ans. Le choix de cette période se justifie par le souhait de prendre en compte dans l'analyse les différentes phases de l'évolution pluviométrique au Sénégal, c'est-à-dire la période avant la sécheresse, la phase de sécheresse des années 1970-1980 et la dernière phase de rémission pluviométrique notée ces dernières années. Ces données sont collectées au niveau de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM). Leur variabilité temporelle a été déterminée grâce à l'utilisation de l'Indice Standardisé des Précipitations (ISP). Il a été déterminé comme suit : Pluie annuelle – Moyenne de la série / écart-type de la série. Enfin, la classification de Mckee T. B. *et al.* (1993) cité par l'OMM (2012) a été utilisé pour caractériser les résultats des indices obtenus sur la pluviométrie.

Les données agricoles utilisées pour faire la corrélation entre pluviométrie et rendements proviennent des Services Départementaux du Développement Rural (SDDR). Compte tenu de leur disponibilité, elles couvrent la période 1999-2020, soit 22 ans. Pour une meilleure appréhension des manifestations et des impacts de la variabilité pluviométrique, des enquêtes quantitatives ont été faites sur la base d'un questionnaire destiné à la population locale. Huit villages ont été ciblés pour les enquêtes et pour chaque village nous avons pris 1/3 des ménages, soit un échantillon de 33 %. Ce qui nous a amené à enquêter de manière aléatoire 153 paysans.

2. Analyse de la variabilité pluviométrique de 1931 à 2020

L'analyse de l'évolution pluviométrique de 1931 à 2020 révèle une forte irrégularité marquée par l'alternance d'années humides et sèches. Globalement, la tendance de la pluviométrie est à la baisse et la série est déficitaire pendant 49 ans sur les 90 ans, soit un ratio de 54 % (figure 1). Ainsi, l'analyse des périodes d'anomalie pluviométrique faite avec l'IPS

nous dévoile les trois grandes périodes qui caractérisent l'évolution de la pluviométrie au Sénégal :

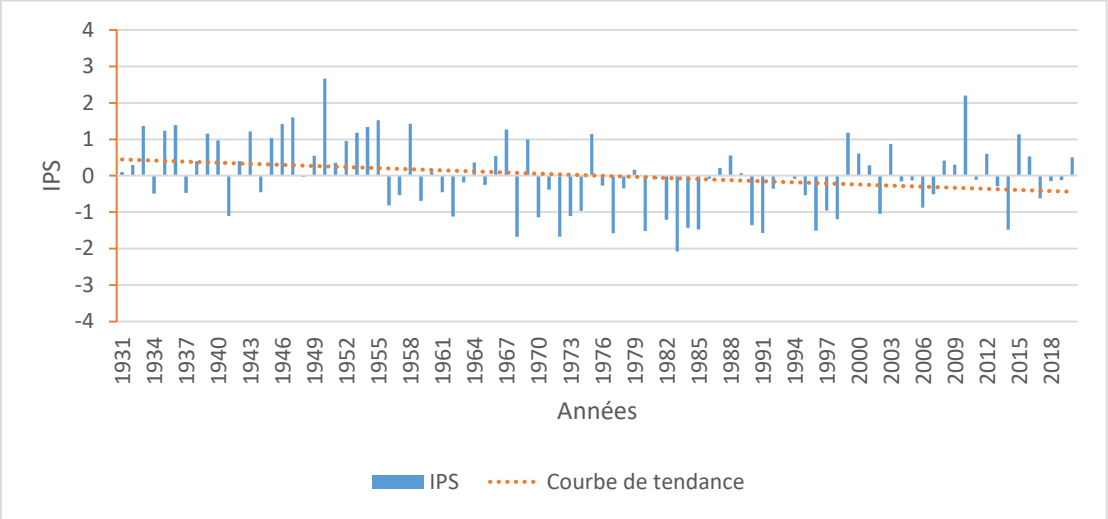


Figure 23: Variation interannuelle de l'IPS à Nioro du Rip de 1931 à 2020

La première période qui va de 1931 à 1955 dure 25 ans, soit 28 % de la série. Elle peut être qualifiée d'humide dans la mesure où seules 5 années se retrouvent avec un indice négatif dont le plus faible est enregistré en 1941 (-1,1), d'où une sécheresse modérée. L'année 1950 qui présente un IPS>2 se caractérise par une humidité extrême pendant que la majeure partie des autres années de cette période sont classée dans la catégorie de forte humidité (1≤IPS<2).

La deuxième période (1956-1998) qui représente 48 % de la série est considérée comme sèche car coïncidant avec la grande sécheresse qui a frappé les pays sahéliens en général, et le Sénégal en particulier, dans les années 1970-1980. En effet, durant les 43 ans que compte cette période, seuls 10 ont un indice positif dont la valeur la plus élevée (1,4) est enregistrée en 1958, classant ainsi cette année dans la catégorie de forte humidité. Les années 1967, 1969 et 1975 sont aussi classées dans cette même catégorie. Toutes les autres années de cette période (77 %) se signalent avec des indices négatifs, les classant dans les catégories de sécheresse forte (-2<IPS≤-1) à sécheresse extrême (IPS< -2). L'année 1983 enregistre l'indice le plus faible (-2,1) suivie de 1968 et 1972 qui se retrouvent avec un IPS de -1,7.

La dernière période allant de 1999 à 2020 (22 ans) peut être considérée comme une période de rémission pluviométrique car 50 % des années de cette période sont humides. Les années les plus humides sont 2010, 1999 et 2015 avec des indices respectifs de 2,2 ; 1,2 et 1,1 qui les classent ainsi dans les catégories d'humidité extrême à forte humidité. Les années 2014, 2002 et 2006 sont les plus sèches de cette période avec des valeurs respectives de -1,5 ; -1,0 et -0,9.

3. Corrélation entre variabilité pluviométrique et rendements agricoles

Dans le département de Nioro, l'agriculture qui constitut l'activité principale subit pleinement l'influence de la variabilité des précipitations. Cela se manifeste surtout sur les spéculations les plus cultivées, à savoir l'arachide, le mil, le maïs et la pastèque. En effet, chaque spéculation a ses propres exigences en termes de quantité d'eau, ce qui va influer fortement sur leur processus de maturation et donc sur leurs rendements. Ainsi, une pluviométrie comprise entre 500 et 1000 mm permet généralement d'obtenir de bonnes récoltes pour l'arachide (*Arachis hypogaea*). Le mil (*Pennisetum glaucum*) qui constitue la céréale la plus cultivée au Sénégal, car très résistante au stress hydrique, a des besoins en eau entre 200 et 800 mm. Le maïs (*Zea mays*) quant à lui, une pluviométrie entre 500 et 800 mm est idéale pour son développement alors que pour la pastèque (*Citrillus lanatus)* qui est composée à 90,9 % d'eau,

il faut une pluviométrie comprise entre 600 et 800 mm. Cependant, la répartition de la pluviométrie est beaucoup plus déterminante pour les rendements que la quantité précipitée.

La corrélation faite entre la pluviométrie et les rendements comporte plusieurs conjonctures variant d'une année à une autre. Mais quatre situations distinctes peuvent être retenues dans cette relation :

D'abord, nous avons le contexte où la pluviométrie et le rendement sont tous deux excédentaires. Cette situation est remarquée à 22,7 % pour l'arachide, 18,2 % pour le mil et le maïs, alors que pour la pastèque cette fréquence n'est que de 13,6 % durant la série étudiée (1999-2020).

Ensuite, il y'a le cas des années avec une pluviométrie excédentaire et des rendements déficitaires. Le constat est fait à 27,3 % des cas pour l'arachide, 31,8 % pour le mil et le maïs. La fréquence d'observation de cette situation est de 36,4 % pour la pastèque durant les 22 années de notre étude (figure 2).

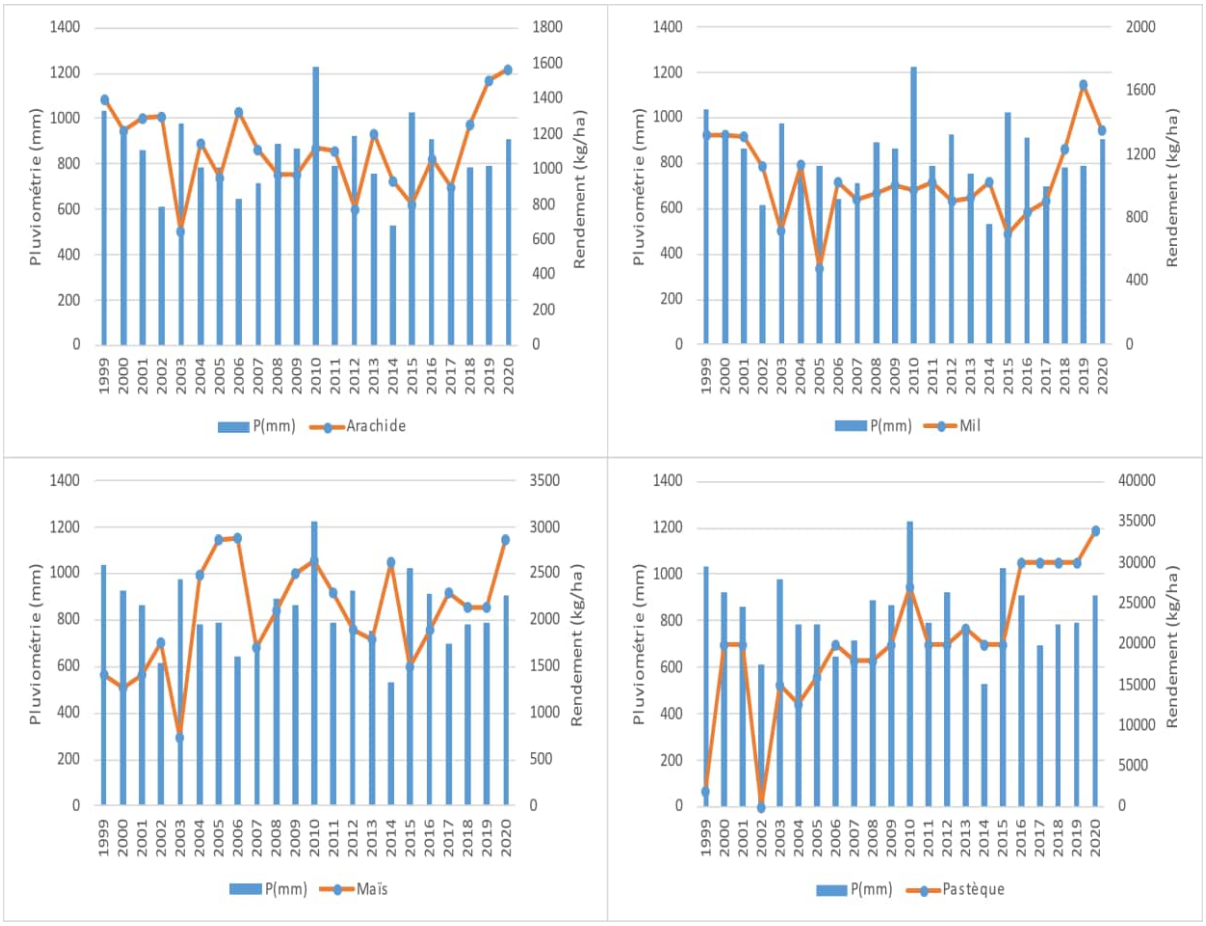


Figure 24: Corrélation entre pluviométrie et rendement des principales spéculations à Nioro du Rip de 1999 à 2020

seulement à 13,6 % de ladite série pour l'arachide et le maïs. En ce qui concerne le mil, c'est le type de situation la plus fréquente dans notre zone d'étude avec une récurrence de 40,9 % alors que la fréquence de cette situation est de 36,4 % pour la pastèque.

Enfin, nous avons le cas des hivernages avec une pluviométrie déficitaire mais aboutissants par un rendement excédentaire. Avec des fréquences de 36,4 %, cette situation est la plus récurrente concernant les cultures d'arachide et de maïs dans le département de Nioro. Pour le

mil et la pastèque, ce constat se fait rarement dans la zone, d'où des fréquences respectives de 9,1 % et 13,6 %.

Ainsi, nous constatons que le rapport entre la pluviométrie et le rendement agricole n'est pas homogène. Dans la plupart des cas les deux facteurs évoluent en sens inverse. Néanmoins, on note une plus grande proportionnalité dans cette relation en ce qui concerne la culture du mil avec une fréquence de 59,1 %. Vient ensuite la pastèque avec 50 %, alors que cette réciprocité est observée à 36,3 % pour l'arachide et 31,8 % pour le maïs. Donc, nous pouvons en déduire qu'en dehors de la quantité de pluie il y'a d'autres facteurs influant sur les rendements de la production agricole.

4. Perception des populations sur la variabilité pluviométrique et les facteurs influant les rendements

Les paysans qui sont les principaux acteurs du secteur agricole ont un regard particulier sur les variations des précipitations et l'évolution des rendements agricoles. Selon les résultats, 48 % des paysans enquêtés ont constaté une diminution de la pluviométrie contre 35 % qui n'ont pas vraiment noté de changement et 17 % qui ont observé une augmentation de la pluviométrie. En ce qui concerne les rendements, ils affirment à 95 % avoir constaté leur baisse qui est imputable à la variabilité pluviométrique. Toujours selon eux, les facteurs les plus influant sur cette baisse sont la fréquence des séquences sèches, l'arrivée tardive des pluies et/ou la fin précoce des pluies (figure 3).

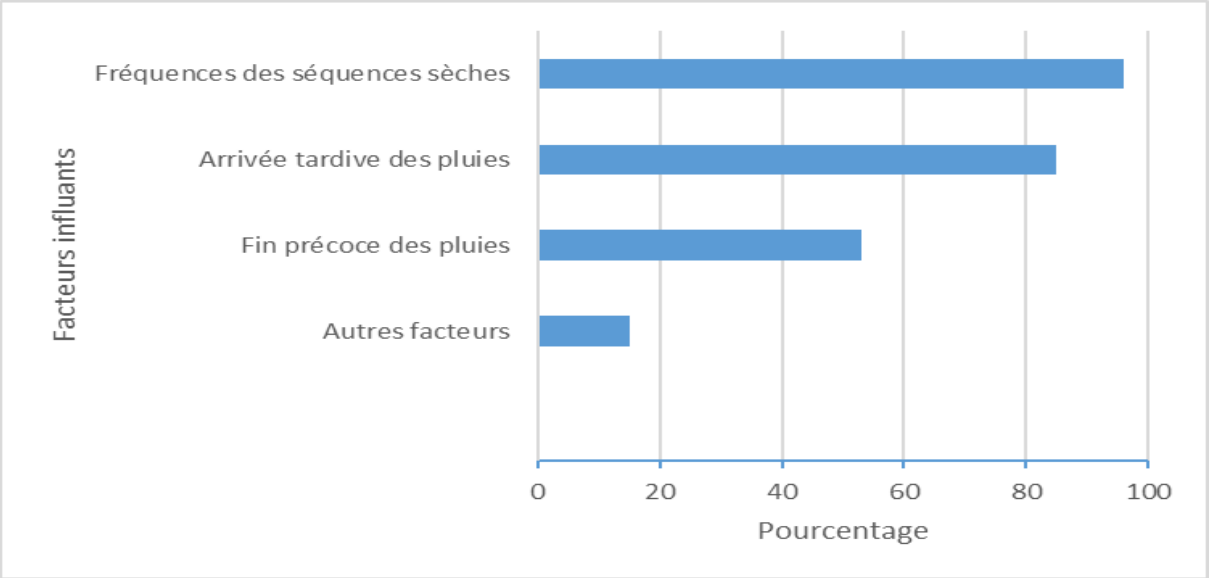


Figure 25: Perception des paysans sur les facteurs influant sur les rendements agricoles à Nioro du Rip

D'après 96 % des enquêtés le stress hydrique qui intervient souvent en début d'hivernage complique le démarrage des saisons culturales et pousse beaucoup de paysans à prendre le risque de ressemer pour un meilleur démarrage, tout en espérant que la fin des pluies ne soit pas précoce, d'où une incertitude totale. 85 % désignent l'arrivée tardive des pluies comme un frein au rendement, car c'est en se basant sur l'arrivée des pluies et le degré d'humidité des sols que les paysans jaugent la date la plus optimale pour les semis, sauf pour le mil qui peut être semé avant les premières pluies.

Les facteurs restant sont divers et variés. Parmi ceux-ci il y'a le manque d'intrants (semence de bonne qualité et engrais) combiné à la dégradation des sols. Ensuite, vient le manque et la cherté de matériels agricoles, sans oublier la divagation des animaux et l'agression des cultures par les insectes et les parasites. Il y'a aussi l'augmentation des températures, le lessivage des sols causé par l'érosion hydrique etc. Tous ces facteurs peuvent soit entraver le bon déroulement

des travaux champêtres soit freiner le développement des cultures. Dans les deux cas, ils affectent les rendements agricoles dans le département de Nioro du Rip.

Conclusion

La pluviométrie dans le département de Nioro du Rip est caractérisée par une irrégularité avec comme principale conséquence la baisse des rendements agricoles. Cependant, le rapport entre pluviométrie et rendement agricole n'est pas homogène, car dans la plupart des cas le rendement n'est pas proportionnel à la pluviométrie. Cela montre qu'il y'a d'autres facteurs qui influent sur le rendement agricole comme l'arrivée tardive ou la fin précoce des pluies, le stress hydrique, la durée de l'hivernage, l'augmentation de la température etc. L'influence de la variabilité pluviométrique ne se limite pas seulement à l'agriculture. Elle occasionne aussi des répercussions sociales telles que la pauvreté et l'insécurité alimentaire chez les populations rurales. Ainsi, les populations, l'Etat et les ONG ont mis en place plusieurs stratégies pour s'adapter à la variabilité pluviométrique.

Bibliographie

ANSD, 2024 : *5e Recensement Général de la Population et de l'Habitat, 2023 (RGPH-5, 2023)*, Rapport provisoire, juillet 2024, 541p.

FAYE M, TINE D, SARR I., 2023 : Caractérisation de la saison des pluies (de 1950 à 2013) dans un contexte de changement climatique : cas du Sénégal oriental, *International Journal of Advanced Research (IJAR)*, Article DOI :10.21474/IJAR01/17970, pp.148-162

GUEYE M., 2013 : *Evolution de la variabilité pluviométrique de 1963 à 2012 dans le département de Koungheul : impacts sur les ressources naturelles et stratégies d'adaptation.* Mémoire de Master II, FLSH, UCAD, 126 p.

OMM, 2012 : *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé*, OMM-N°**1090**, Suisse, 17 p.

TRAORE L, BELLO O D, BALOGOUN B, CHABI F, ISSIFOU M Y, YABI Y, AHOTON E L & SAÏDOU A., 2022 : Variabilité Intra-saisonnière des Pluies et Production du Sorgho en Zones Soudanienne et Sahélienne du Mali, *European Scientific Journal,* ESJ, **18** (40), pp 161-186.

YADE M., 2016 : *Migrations de l'Equateur Météorologique, précipitations enregistrées et calendrier agricole au Sénégal de 2004 à 2013*. Thèse de Doctorat unique, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 329p.

PERCEPTION PAYSANNE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET STRATEGIES D'ADAPTATION : CAS DE LA REGION DE LA MARAHOUE (CENTRE-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE).

Assa Fabrice YAPI[1], Bi Vami Hermann N'GUESSAN[2], Oulaï Jean Gautier KPAN[1], Yeï Marie Solange OGA[2].

1: Département de Géosciences, Université Peleforo GON COULİBALY, Korhogo, BP 1328 Korhogo - Côte d'Ivoire. (yapiassaf@upgc.edu.ci).

2: Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement, Université Félix HOUPHOUËT BOIGNY, 22 BP 582 Abidjan 22 - Côte d'Ivoire.

Résumé : *La région de la Marahoué, située dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, est fortement exposée aux effets de la variabilité climatique, entraînant une sécheresse aux répercussions socioéconomiques marquées. La diminution des précipitations et l'irrégularité des saisons affectent les productions agricoles, pilier de l'économie locale, aggravant ainsi l'insécurité alimentaire et la précarité des populations. Il est donc crucial de comprendre comment les paysans perçoivent la notion de changement climatique et quels peuvent ses impacts sur leur activités socioéconomiques. Pour atteindre cet objectif, une enquête socioéconomique a été menée et il ressort de cette enquête que de façon générale, les pluies ne sont pas au rendez-vous là où les paysans s'attendent à elles.*

Mots clés : *Sécheresse socioéconomique, variabilité climatique, Marahoué, Côte d'Ivoire.*

Abstract: Farmers' perceptions of climate variability and adaptation strategies: the case of the Marahoué region (west-central of Côte d'Ivoire). *The Marahoué region, located in the central-western part of Côte d'Ivoire, is highly exposed to the effects of climate variability, leading to drought with significant socioeconomic repercussions. Declining rainfall and irregular seasons are affecting agricultural production, the backbone of the local economy, thereby exacerbating food insecurity and the precarious situation of the population. It is therefore crucial to understand how farmers perceive the concept of climate change and what its impacts may be on their socioeconomic activities. To achieve this objective, a socioeconomic survey was conducted, which revealed that, in general, rainfall is not occurring where farmers expect it to.*

Keywords: *Socioeconomic drought, climate variability, Marahoué, Côte d'Ivoire.*

Introduction

La Côte d'Ivoire a subi un déficit pluviométrique chronique (3% en moyenne) durant cette période, avec des épisodes extrêmes en 1983 (-15%) et 1998 (-11%) selon N'go et al. (2017). Noufe (2011) et la FAO (1999) documentent les conséquences majeures de ces sécheresses, notamment : les pertes économiques estimées à 40 millions USD, les problèmes hydriques accentués (baisse des crues, tarissements précoces) rt les impacts sur la Marahoué, rivière clé du Centre-Ouest ivoirien (Irié *et al.,* 2015).

Cette variabilité climatique a particulièrement affecté les cultures pluviales (café, cacao, anacarde, vivriers), réduisant les rendements par insuffisance hydrique (Diomandé, 2013). L'étude vise à analyser les perceptions paysannes de ces changements et leurs impacts socioéconomiques sur les activités agricoleses.

1. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°15 et 6°30 Ouest et les latitudes 6°00 et 8°00 Nord (figure 1). Le Climat est de type baouléen et caractérisé par deux grandes saisons alternées par deux petites : une grande saison sèche (de décembre à fin février), une grande saison de pluie (de mars à juin), une petite saison sèche (de juillet à août) et une petite saison de pluie (de septembre à novembre) ; (Irié *et al*., 2015). La région est drainée par le fleuve Bandama rouge qui fait office de frontière naturelle sur le côté Est, ensuite la Marahoué qui traverse la majeure partie de la zone d'étude.

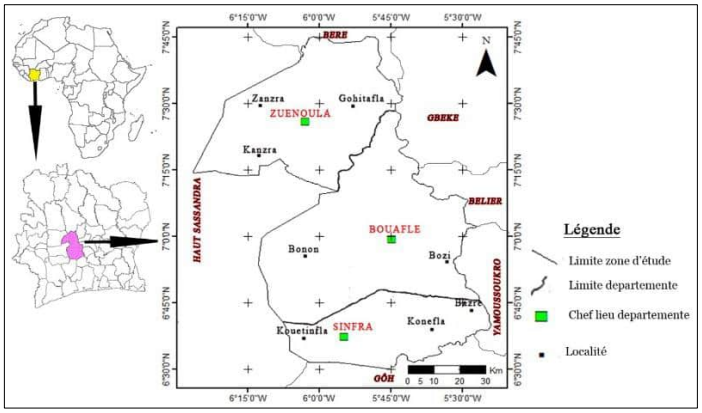


Figure 1 : Localisation de la région de la Marahoué

2. Matériel et méthodes

2.1. Données

Les données utilisées sont dans le cadre de cette étude sont les données collectées lors d'une enquête socioéconomique au prêt des paysans et certaines coopératives de la région de la Marahoué.

2.2. Méthode

2.2.1. Réalisation de l'enquête sur la perception paysanne de la sécheresse

- **Éthique**

L'étude a respecté des principes éthiques stricts concernant le consentement éclairé et l'anonymat des participants (Diomandé, 2013). Les sujets, potentiellement vulnérables (Martineau, 2007), ont reçu une explication claire des objectifs de la recherche et de leur droit de refuser de répondre ou d'interrompre leur participation à tout moment.

Pour garantir la confidentialité, les données ont été anonymisées par la suppression des identifiants directs (noms, adresses) remplacés par des pseudonymes, protégeant ainsi les participants contre tout risque de stigmatisation ou représailles.

- **Réalisation de l'enquête**

Grâce à une enquête par questionnaire effectuée dans la région du 26 mars au 09 avril 2018, une collecte de données socio-économiques a été réalisée. Les paysans enquêtés ont appartenu à un échantillon non probabiliste identifié. Cela en raison de leur disponibilité dans les différentes localités enquêtées. Les personnes sélectionnées devaient être typiquement des cultivateurs (leur activité est tributaire du climat) avec un âge supérieur ou égal à 50 ans. L'hypothèse du choix de cette classe d'âge est que celle-ci aurait vu au moins quatre décennies de l'évolution du climat dans la région. Selon Diomandé (2013), les personnes de plus de 40 ans d'expérience donnent plus de détails en matière de changement pluviométrique.

Les grandes rubriques qui ont été développées dans ce questionnaire sont : Identification et informations de base, Connaissance de la sécheresse, Moyens d`adaptation aux effets de la sécheresse, Conséquences économiques de la sécheresse, Questions sur le cours d'eau Marahoué.

2.2.2. Choix des localités enquêtées

L'enquête s'est faite dans toute la région de la Marahoué notamment dans les localités de Zuénoula, Gohitafla, Manfla, Bouaflé, Garango, Bonon et Sinfra. Ce choix est guidé par leurs caractéristiques socio-économiques et la présence de coopératives.

2.2.3. Échantillonnage

Les entretiens ont eu lieu dans les localités susmentionnées. Il a été administré aux paysans pris individuellement et aux organisations coopératives (Tableau I).

Tableau VII : Échantillon de l'enquête socio-économique

Localités	Nombre de Coopératives	Populations interrogées
Zuénoula	2	56
Gohitafla	4	123
Manfla	1	52
Bouaflé	1	15
Garango	1	37
Bonon	3	95
Sinfra	2	75
Total	**14**	**453**

3. Résultats et discussion

L'analyse de la sécheresse socioéconomique dans la région de la Marahoué a consisté à mettre en exergue la perception des paysans sur la sécheresse, son impact socioéconomique et des stratégies d'atténuations et ou les pratiques d'adaptation des paysans face à ce fléau.

3.1. Perception des paysans sur la variabilité climatique

3.1.1. Description du climat

Les langues locales ne possèdent pas de terme équivalent au concept scientifique de climat, mais décrivent plutôt l'alternance des saisons. En pays Gouro (région de la Marahoué), le calendrier traditionnel distingue :"Zohouglo" : grande saison des pluies (mars à juin), "Vèvè" : petite saison pluvieuse (septembre à octobre), "Yèrèga" : grande saison sèche (novembre à février) et "Moungou waka" : petite saison sèche (juillet à août).

Les enquêtes révèlent une perturbation croissante de ce cycle saisonnier. Les paysans constatent une baisse des précipitations et un dérèglement des saisons : débuts retardés, fins précoces, et inversion des régimes pluviométriques (pluies en saison sèche, sécheresses en saison humide). 71% des agriculteurs avouent ne plus pouvoir anticiper le calendrier traditionnel.

Le réchauffement climatique se manifeste clairement par une hausse des températures, particulièrement marquée durant les quinze dernières années, rendant les saisons sèches plus caniculaires et modifiant profondément les repères agroclimatiques traditionnels.

3.1.2. Manifestation de la variabilité climatique selon les enquêtés

Plusieurs faits sont évoqués pour expliquer la variabilité climatique. Parmi ceux-ci, il y a la hausse de température, la fin précoce de la saison des pluies, le démarrage tardif des pluies, les longues sécheresses, les fortes pluies et la baisse des pluies d'une année à une autre (Figure 2).

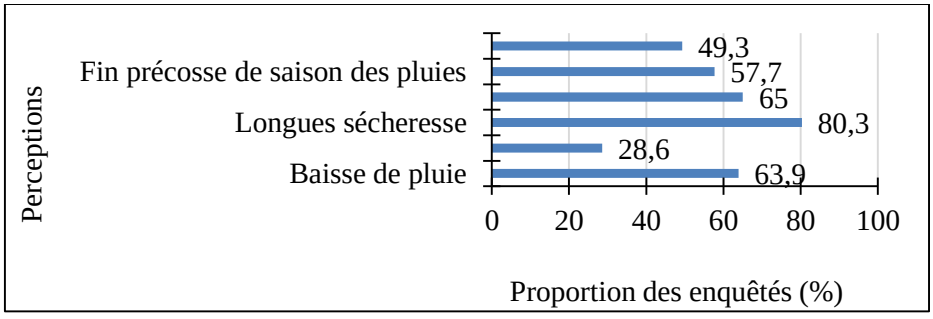


Figure 2 : Perception des manifestations de la sécheresse

De tous ces facteurs, les baisses de pluies sont évoquées par 63,9 % des enquêtés. Les longues sécheresses et le démarrage tardif des pluies observés respectivement par 80,3 % et 65 % des paysans, posent des désagréments aux agriculteurs en particulier les producteurs d'anacarde.

3.2. Impact socioéconomique de la variabilité climatique dans la région de la Marahoué

La variabilité climatique est une réalité dans la région de la Marahoué (Figure 3). Elle est perçue par les paysans principalement lors de la récolte du cacao et de l'anacarde. Concernant la dernière culture citée, plus de 80% des enquêtés affirment que leurs productions sont beaucoup affectées par les fluctuations de la pluviométrie. En effet, lorsqu'ils s'attendent à des précipitations, c'est une sécheresse sans précédent qui est observée. Cela a été constaté par les enquêtés lors de la campagne 2016-2017 dans la région de la Marahoué.



Figure 3 : Effets de la variabilité climatique sur la cacao culture à Kouetinfla (département de Sinfra)

3.2.1. Effets de la variabilité climatique sur les activités agricoles

Selon les enquêtés et les coopératives, la variabilité climatique affecte plus la production agricole (Figure 4). En effet, 52,2 % des enquêtés estiment que la sécheresse contribue à la baisse de la production agricole. Pour d'autres (20 %), la sécheresse est la cause de l'abandon de certaines cultures au profit d'autres qui ont émergé. Il faut noter cependant que l'abandon d'une spéculation agricole peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Soit la spéculation subit directement les effets du changement climatique (pluies tardives, insuffisantes ou trop abondantes), soit les cours sur le marché ont chuté et deviennent peu incitatifs de sorte que les producteurs deviennent non compétitifs. En outre, 27,8% des enquêtés affirment que la sécheresse a un effet négatif sur la qualité des produits.

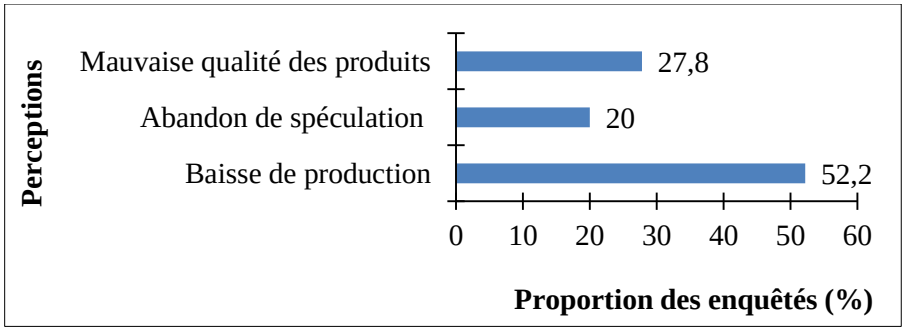


Figure 4 : Effets de la variabilité climatique sur les activités agricoles

3.2.2. Effets de la variabilité climatique sur les rendements agricoles

Selon 81,4% des enquêtés, les rendements agricoles ont diminué depuis 2001, contre 18,6% estimant qu'ils ont augmenté. Bien que le changement climatique entraîne généralement une baisse de productivité, certaines cultures peuvent voir leurs rendements s'améliorer si les producteurs s'adaptent correctement.

Le principal défi réside dans la modification des régimes pluviométriques : les pluies sont toujours présentes, mais leur répartition dans le temps et leur intensité sont devenues imprévisibles. L'enjeu majeur pour les agriculteurs consiste donc à adapter leurs pratiques à cette nouvelle variabilité climatique.

3.3. Stratégies d'adaptation à la variabilité climatique dans la région de la Marahoué

L'adaptation à la variabilité climatique est importante dans la stratégie de survie des populations. Plusieurs moyens sont utilisés par les populations pour s'adapter aux effets de la variabilité climatique. Ces stratégies ont contribué aux modifications des habitudes en matière de production. Il s'agit par exemple pour les agriculteurs d'abandonner des spéculations moins résistantes au stress hydrique et de s'adonner à celles qui en sont plus résistantes. D'autres multiplient les semis de sorte à multiplier les chances de germination.

Les données recueillies dans les localités investiguées permettent de faire le constat suivant (figure 5) :

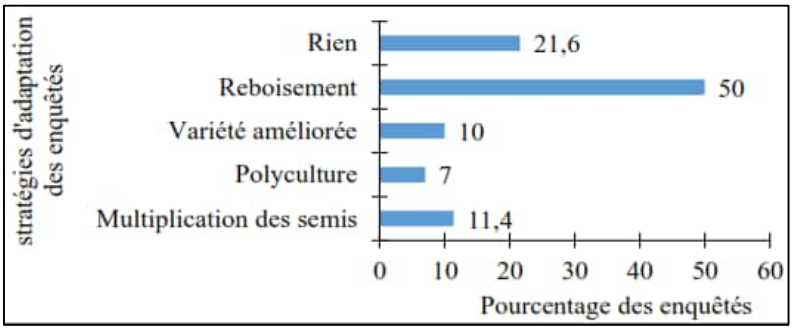


Figure 5 : Moyens d'adaptation des paysans face à la variabilité climatique

Une proportion importante de paysans (21,6 %) ne fait rien pour s'adapter à la variabilité climatique, 50 % des enquêtés qui disent recourir à des techniques de reboisement pour essayer d'échapper aux effets. D'autres cependant (7 %), procèdent à la polyculture. Pour pallier l'échec des cultures dû à la baisse des précipitations, 10 % des paysans plantent de nouvelles variétés ayant un niveau de tolérance au stress hydrique. Environ 11,40 % des paysans ont utilisé la méthode de multiplication de semis comme stratégies d'adaptation.

Discussion

Le choix de l'âge minimum de 50 ans comme préalable pour être un répondant aux questionnaires corrobore les études Gyampoh *et al*. (2009). En effet, pour développer des études sur les mesures d'adaptation locales, le savoir traditionnel en matière de pluviométrie doit être analysé sur la base des opinions des membres de la communauté notamment ceux qui ont plus d'expérience en matière de changement pluviométrique. Dans la Marahoué, tous les enquêtés (100 %) ont une bonne connaissance sur le changement du temps entre autres de la sécheresse. Ce qui corrobore avec les résultats des études au niveau de la communauté rurale du Burkina Faso et celle de Dimbokro où environ 76 % des paysans interrogés estiment que les précipitations ont changé (Ouédraogo et *al*. 2010 ; Diomandé, 2013).

Les rendements ont baissé selon plus 80% des enquêtées. Il faut dire que le secteur agricole est le fer de lance des économies africaines et le moyen d'existence de près de 80% des populations locales dans le monde (Dioum, 2010). Ce secteur est de plus mis en mal par les effets de la sécheresse. En effet, le raccourcissement des périodes de pluies (Aké, 2010), constaté dans le Sud-Est côtier ivoirien, constitue un facteur limitant de la croissance des cultures. Or le rendement d'une culture n'est optimisé que si la période de croissance du régime bioclimatique est assez longue pour qu'elle puisse couvrir la durée du cycle de croissance de la culture donnée (Balme *et al*. 2005). Les crises alimentaires observées dans certains pays

d'Afrique par Dugué (2012) sont en grande partie liées aux baisses de rendement. Depuis 2015, la corne de l'Afrique ainsi que les pays du Sud de l'Afrique ont vécu une crise céréalière sans précédent à la suite d'une sécheresse liée au phénomène El niño.

Conclusion

La perception des paysans sur la variabilité climatique, son impact socioéconomique et des stratégies d'atténuation et les pratiques d'adaptation de ces paysans face à ce fléau a été étudiée dans la région de la Marahoué. La majorité des paysans enquêtés (71,10%), résument les effets de la variabilité climatique en un dérèglement des saisons (saison des pluies et saison sèche) qui a pour corollaire la déstabilisation des populations vis-à-vis de leur calendrier cultural. 80,3% des enquêtés ont mentionné de longues sécheresses et le démarrage tardif des pluies. La conséquence de cette situation est la baisse des rendements et de revenus décriés par les paysans de la zone d'étude. Au niveau agricole, les populations peuvent s'adapter aux impacts du dérèglement climatique à travers la multiplication des semis, l'introduction d`une nouvelle culture ou d'une variété améliorée plus résistante à la sécheresse. Comme méthode d'adaptation, ces populations utilisent également des techniques de fertilisation du sol pour un apport en nutriment des sols appauvris par ce fléau, le reboisement, l'initiation d`activités ou de cultures secondaires.

Bibliographie

Aké G. E., (2010). Impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques sur les ressources hydriques de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 191 p.

Anoh K. A., (2014). Apport d'un SIG et du modèle agro-hydrologique SWAT dans la gestion durable des ressources en eaux du bassin versant du lac de Taabo (Centre de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire), 218 p.

Balme M., Galle S., et Lebel T., (2005). Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analysée à partir des données EPSAT-Niger. Science et changements planétaires/Sécheresse, vol 16, n°1, pp 15-22.

Diomandé M., (2013). Impact du changement de pluviosité sur les systèmes de production agricoles en zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 190 p.

Dioum A., (2010). Stratégies endogènes d'adaptation aux changements climatiques : recul des cultures sous pluie et extension de l'arboriculture associée dans la communauté rurale de Taïba Ndiaye, mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur en Aménagement du Territoire Environnement et Gestion Urbaine de Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 94 p.

Dugué M. J., (2012). Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. Étude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF(www.avsf.org), 50 p.

Gyampoh B.A., Amisah S., Idinoba M. et Nkem J., (2009). Utiliser le savoir traditionnel pour s'adapter aux changements climatiques dans le Ghana rural. Unasylva 231/232, vol. 60, pp.70- 74.

Irie G. R., Soro G. E. et Goula B. T. A., (2015). Changements d'états de surface et évolutions spatio-temporelles des précipitations sur le bassin versant de la Marahoué (Côte d'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 13, n°2, pp. 386-397.

Martineau, S. (2007). L'éthique en recherche qualitative : quelques pistes de réflexion. Recherches qualitatives, 5, 70-81.

N'Go Y. A., Kouassi K. H., Soro G. E., Meledje H. et Goula B. T. A., (2017). Dynamique et impact du climat sur les ressources hydriques et agricoles au sud-ouest de la Côte d'Ivoire. International Journal of Innovation and Applied Studies, vol. 19, n°2, pp 304-314.

Ouédraogo M., Dembélé Y. et Somé L., (2010). Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, vol. 21, n° 2, pp 87-96.

MORPHOLOGIE DU PAYSAGE, VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET LIMITES DES STRATÉGIES DE RÉSILIENCE LOCALE CONTRE LA DÉGRADATION DES SOLS AGRICOLES : CAS DU VILLAGE GNALÈLÈKAHA (NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE)

Tchéfigué abiba YEO [1], Kpaka Sabine DIOBO [2], Serge Fidèle ASSOUMAN [3].

[1] *Université Peleforo GON COULIBALY Korhogo, tchefigueabiba09@gmail.com, +2250709523624 ;*

[2] *Université Peleforo GON COULIBALY Korhogo, diobosabine@yahoo.fr, +2250778874023 ;*

[3] *Université Peleforo GON COULIBALY Korhogo, sergefideleassouman1974@gmail.com, +2250707805788.*

Résumé : *Dans le nord de la Côte d'Ivoire et particulièrement à Gnalèlèkaha dans la sous-préfecture de Korhogo, les effets de la variabilité pluviométrique se perçoivent sur les surfaces des reliefs qui le couvrent et plus spécifiquement des plateaux cuirassés. La démarche méthodologique adoptée se compose d'une étude statistique des données climatiques locales, de missions d'observation sur le terrain et des entretiens avec les acteurs locaux. Au terme de cette étude, il revient que les zones à forte pente présentent une érosion accrue due au ruissellent tandis que les vallées favorisent l'accumulation de sédiments et l'infiltration des eaux. Les périodes de précipitations intenses détruisent les ouvrages de résilience locaux malgré la présence de multiples stratégies. Les techniques de résilience empêchent le dépôt naturel de sédiments en aggravant l'érosion des sols.*

Mots-Clés *: Gnalèlèkaha, dégradation des sols, limite de stratégie, variabilité climatique.*

Abstract : *In northern Côte d'Ivoire, particularly in Gnalèlèkaha in the Korhogo sub-prefecture, the effects of rainfall variability are felt on the surfaces of the reliefs that cover it, and more specifically on the armored plateaus. The methodological approach adopted consists of a statistical study of local climate data, field observation missions, and interviews with local stakeholders. At the end of this study, it appears that steep slope areas exhibit increased erosion due to runoff, while valleys promote sediment accumulation and water infiltration. Periods of intense rainfall destroy local resilience structures despite the presence of multiple strategies. Resilience techniques prevent the natural deposition of sediment by aggravating soil erosion.*

Keywords *: Gnalèlèkaha, soil degradation, strategy limit, climate variability.*

Introduction

La dégradation des sols agricoles constitue un défi majeur à l'échelle mondiale, menaçant la sécurité alimentaire et la durabilité des systèmes agricoles (Naoko I., 2014, p3). Ce phénomène, exacerbé par les changements climatiques et les pratiques agricoles non durables, se manifeste par une diminution de la fertilité des sols, une érosion accrue et une réduction de la productivité agricole. En Afrique subsaharienne, où l'agriculture joue un rôle crucial dans les économies et les moyens de subsistance, la dégradation des sols représente une préoccupation particulière (Sultan B., et *al,*2017, p209-225). La Côte d'Ivoire, à l'instar de nombreux pays de la sous-région, est confrontée à des défis importants en matière de gestion des sols agricoles. Le nord du pays, en particulier, est caractérisé par une forte variabilité pluviométrique et une morphologie du paysage complexe, qui influencent considérablement les sols. Les communautés rurales de cette zone, dont l'économie repose essentiellement sur l'agriculture, ont développé des stratégies de résilience pour faire face à ces défis. Cependant, l'efficacité de ces stratégies est souvent limitée par des facteurs socio-économiques et environnementaux. Le village de Gnalèlèkaha situé dans la sous-préfecture de Korhogo au Nord de la Côte d'Ivoire, offre un cas pertinent pour analyser les interactions entre la morphologie du paysage, la variabilité pluviométrique, la dégradation des sols et les stratégies de résilience locales. Cette étude vise à décrire la morphologie du paysage, à analyser la variabilité pluviométrique et à évaluer l'efficacité des stratégies de résilience locale.

1. Matériels et méthode

1.1. Caractéristique de la zone d'étude

Le secteur de l'étude est localisé dans la sous-préfecture de Korhogo entre les latitudes 9°24'0" et 9°38'0" N et les longitudes 5°52'30 et 5°35'30" W (Bnedt, 2017). La zone de recherche est limitée par Niofoin et Kombolokoura à l'Ouest, Karakoro à l'Est, Lataha au Nord et au Sud par Dasoungbolo et Tioroniaradougou (figure 1). Elle est drainée par la Badama. Le climat du secteur d'étude est marqué par deux saisons : une longue saison sèche de novembre à avril (Girard, 1961, p46) et une saison pluvieuse de mai à octobre. Le maximum de crue annuelle s'observe généralement entre fin août et début octobre. La végétation est constituée de savane arborée, arbustive ou herbeuse (Adja et al. 2009, p40). La géologie du secteur d'étude se compose de granite et de roches vertes, témoins du prolongement de la dorsale guinéenne. Le matériel pédologique est ferrugineux de type tropical sur les sommets et versants d'interfluves.

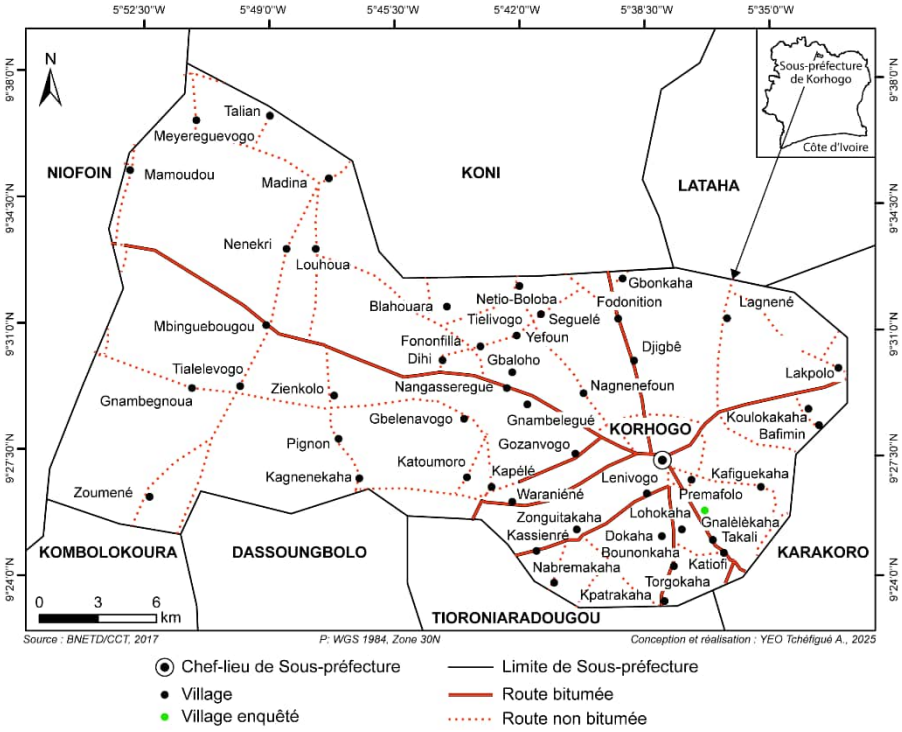


Figure 1 : Localisation du village de Gnalèlèkaha dans la commune de Korhogo

Dans les bas-fonds, on trouve des sols hydromorphes à gley, favorisant la culture irriguée. Les populations locales sont principalement Sénoufo. L'activité principale est l'agriculture. Les produits cultivés sont le plus souvent le riz de bas-fond, les cultures maraichères, et maïs sur les sommets. Cependant, depuis quelques années, les cultures maraîchères prennent de l'ampleur dans cette zone.

1.2. Données et Matériels

Les données utilisées sont de plusieurs natures. Ce sont d'abord des données physiques (morphologie du paysage et des données pluviométriques) ; ensuite des données cartographiques et enfin, des données issues d'entretiens avec les agriculteurs et les représentants de l'ANADER. Les données relatives à la morphologie de l'espace et des sols sont issues de la documentation, des images MNT et de la carte des sols de BNEDT, 2020. Les données pluviométriques sont issues de l'analyse des relevés. Lors de la visite de terrain, des entretiens groupés ont été menés avec des agriculteurs pris individuellement (10, rencontrés sur les parcelles), les groupes d'agriculteurs (2 groupes constitués : les riziculteurs et les producteurs de maraîchers. L'enquête de l'ANADER se fait à l'aide d'un guide d'entretien

relatif aux pratiques agricoles, spéculations, contraintes d'exploitation, taux de fertilité des sols dans les parcelles et les limites des stratégies de résilience.

1.3. Traitement de données

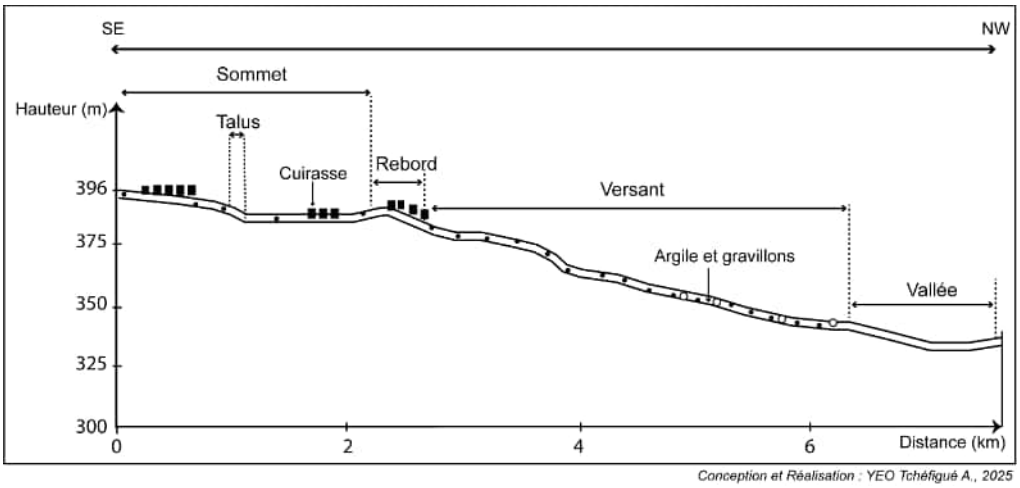
Les relevés pluviométriques des années 2022 et 2023 sont mis en relation avec le potentiel de ruissellement. Les résultats de ce traitement aboutissent à une cartographie du secteur à partir des logiciels appropriés. Il s'agit des logiciel ArcGIS 10.8.2 et Adobe Illustrator CC 2022. Ce site a fait également l'objet de prises de vue pour l'illustration. Les entretiens groupés ont été menés autour des thèmes concernant les aménagements entrepris ou en cours de réalisation, les difficultés liées à la dégradation du sol, les effets de la pluviométrie sur les cultures, l'efficacité des stratégies de résilience. Enfin, les entretiens ont porté sur les stratégies utilisées.

2. Résultats

2.1. Morphologie du paysage de Gnalèlèkaha et la pluviométrie : facteurs favorables à la dégradation du sol

2.1.1. Profil topographique

Le site du village Gnalèlèkaha est un paysage élémentaire de plateau cuirassé. L'inclinaison générale du modelé est Sud-Est/Nord-Ouest (SE-NW) avec une surface irrégulière. Les caractéristiques morphométriques par segment de paysage sont récapitulées dans le tableau I (voir coupe et tableau ci-après).



Source : google earth,2025 et Yeo Tchéfigué Abiba, Diobo Kpaka Sabine et Assouman Serge Fidèle, 2025

Figure 2 : Profil topographique du village de Gnalèlèkaha

Sur le tableau ci-dessous nous avons les caractéristiques morphométriques du segment de paysage de Gnalèlèkaha.

Tableau 1 : Caractéristiques morphométrique de Gnalèlèkaha

SECTION	Altitude maxi (m)	Altitude moyenne (m)	Pente (%)	Étendue (m)	État de surface
Sommet	396	391	0,5	1300	Disséqué
Rebord	388	384	7,4	300	
Versant	380	362	12,5	2150	

Source : Yeo Tchéfigué Abiba, Diobo Kpaka Sabine et Assouman Serge Fidèle, 2025

La séquence étudiée se compose d'un supraèdre (sommet d'interfluve) à la surface régulière et en pente relativement faible (0,5%). Il est limité par une rupture de pente qui donne sur un ectaèdre (ou corniche) de 2,7% d'inclinaison, de forme convexe et très induré ou cuirassé.

Le métaèdre ou le versant en contrebas de la corniche aà une surface irrégulière, étendu sur 2150m, il n'a pas une forme nette qui pourrait permettre de le définir. Cette situation rend quasi complexe la reconnaissance de la forme du versant. La surface est érodée et le ruissellement s'y déroule par ravinement et par rigole. Cette section fait entrevoir la présence de rétichron, de carapace puis de cuirasse ferrugineuse dans les ravins. Aussi, la surface est recouverte de gravillons ferrugineux et de quelques blocs de cuirasse transportés par l'eau de ruissellement ; affleurement dû au transport des matériaux de la couche superficielle (érosion aréolaire) à certains endroits sur le versant.

L'infraèdre (vallée) est peu profond avec 5,5 m de dénivelée par rapport au métaèdre avec des versants dissymétriques et rectilignes (tableau II). Il est drainé par la rivière qui est un cours d'eau intermittent (qui tarit en saison sèche). La largeur de fond est estimée à 60 m. Les phénomènes d'érosion d'interfluve et d'ensablement de la vallée sont à l'origine du comblement du fond.

Tableau 2 : Caractéristiques physiques de la vallée de Gnalèlèkaha

Vallée	**Drainage**	**Direction**	**Profil des Versants**	**Profondeur**	**Ampleur**
Rivière	Faible	Nord-Ouest/Sud-est	Dissymétriques	5,5m	60 m

Source : Yeo Tchéfigué Abiba, Diobo Kpaka Sabine et Assouman Serge Fidèle, 2025

2.1.2. Dégradation du sol due aux effets de la pluviométrie et de la pente

La mise en relation entre les différentes la pluviométrie et la pente a permis alors d'en déduire l'exposition du village Gnalèlèkaha à l'érosion (dégradation). A l'analyse du tableau ci-dessous, moins le sol est recouvert par la végétation, et plus le ruissellement s'intensifie avec la pente et augmente par conséquent la manifestation de l'érosion sur le segment de paysage, sur le village. La prise en compte des données montre que le village de Gnalèlèkaha a une susceptibilité forte à l'érosion. Cela se perçoit dans la manifestation, l'érosion a des effets plus importants ; ce qui veut dire plus la pente est forte plus la vitesse d'érosion est importante avec la pluie.Gnalèlèkaha est un paysage élémentaire de plateau cuirassé.

2.2. Stratégies de résilience contre la dégradation du sol mais limitées pour la protection des cultures due aux variabilités pluviométriques et le modelé

2.2.1. Types de stratégie

Quatre types de stratégies sont utilisés contre la dégradation du sol. Ces stratégies sont entre autres :

- **Sacs de sables** : les sacs de sable est une technique pour contrôler l'érosion, protéger les cultures contre les inondations et créer des digues temporaires. Cette technique est utilisée par 21% de la population enquêtée.

- **Buttes de protections** : C'est une technique utilisée pour réduire l'érosion des sols en zone rurale. Cette méthode consiste à créer des élévations de terre ou de végétation stratégiquement placées sur des pentes ou des terrains sujets à l'érosion. Souvent pour piéger l'eau afin d'utiliser plus tard et souvent pour éviter l'inondation des cultures. 78% de la population enquêtée utilise cette technique entre les différentes saisons de la pluviométrie et la pente. Cela a permis alors d'en déduire

- **Paillage** : est une technique qui permet de protéger le sol et de conserver l'humidité dans le sol. Elle est utilisée par 98% de la population enquêtée.

- **Agroforesterie** : c'est une pratique qui consiste à conserver les arbres et faire l'activité agricole afin de protéger les sols contre la dégradation. Elle est utilisée par 12% de la population enquêtée.

2.2.2. Limites des stratégies de résiliences : variation de la pluviométrie induisant l'inefficacité des stratégies

Les sacs de sables et les buttes de protections ont un effet sur l'étalement des écoulements et les risques d'érosion. Cependant, contrairement aux zones d'accumulation (bas-fond) lorsqu'on a une forte pluviométrie, la stratégie semble inefficace (photo 1 et 2).



Photo 1 : Sacs en sable détruisent par une forte pluie à Gnalèlèkaha



Photo 2 : Paillage détruit par une forte pluie favorisant l'inondation des cultures à Gnalèlèkaha

Cliché : Yeo Tchéfigué Abiba, Diobo Kpaka Sabine et Assouman Serge Fidèle, 2024

Ces deux photos montrent l'inefficacité des sacs en sable et du paillage en cas d'une pluviométrie intense. Ce qui a favorisé à la baisse des cultures.

70% des populations affirment que les stratégies de résilience ont une limite due à la variation de la pluie et la forme du paysage. 30% de la population enquêtée affirment par contre que la limite des stratégies est liée au manque de moyen afin d'avoir des matériels sophistiqués pour stopper l'érosion des sols et l'ensablement des bas-fond. 52,27% des population enquêtée ont affirmé que les stratégies de résilience favorisent un rendement élevé. Par contre, 38,64% ont confirmé que ces stratégies améliorent la fertilité du sol (Tableau 3).

Tableau 3 : Efficacité des stratégies de résilience contre la dégradation du sol

	Impact sur l'activité agricole			
Type de stratégie de résilience contre la dégradation du sol	**Rendement élevé**	**Fertilité améliorée**	**Humidité conservée**	**Totaux**
Paillage	6	2	0	8
Sac en sable	7	4	1	12
Butte de protection	6	9	2	17
Agroforesterie	4	2	1	7
Pondération totale	23	17	4	44
Pourcentage	52,27	38,64	9,09	100

Source : Yeo Tchéfigué Abiba, Diobo Kpaka Sabine et Assouman Serge Fidèle, 2025

Discussion

De nombreuses études ont été menées sur la question qui montrent les impacts de la variabilité pluviométrique sur la pratique des activités liées à l'agriculture (Brou Y.T., et *al*., 2005 ; Vano et *al.*, 2013). Cette variabilité se manifeste par la baisse importante de la pluviosité et une prolongation des saisons sèches. Cette variabilité pluviométrique a un impact significatif

sur le sol d'où sa dégradation. C'est en ce sens que les paysans font recours aux stratégies de résilience contre la dégradation. Plusieurs paysages utilisent à la fois les sacs en sable, les buttes de protection, le paillage. Alors que 12% de la population enquêtée utilise l'agroforesterie à cause de l'insuffisance de terre (Diallo D., 2005, p9).

L'efficacité des dispositifs des stratégies de résilience contre la dégradation du sol a été mise en évidence dans différentes situations. Le cordon pierreux a un effet positif sur les débits de pointe, l'étalement des écoulements et les risques d'érosion (Roose, 1994). Son influence sur le ruissellement global reste mitigée. Cependant, contrairement aux zones de forte pluviosité, il n'est pas exclu que cette influence soit significative dans les situations les plus arides de la zone soudano sahélienne (faible total annuel de pluie, nombre de pluies limité, humidité du sol fréquemment bas) : le dispositif semble diviser le ruissellement moyen par 4 et l'érosion par 25 au Niger (Diallo D., 2005, p10). Par contre dans notre cas ce sont les buttes de protection. A Kaniko (sud du Mali), le cordon pierreux et la demi-lune ont permis la recolonisation totale du sol nu par une végétation herbacée (tableau 2), et cela au bout de deux ans (Van der Pool et Kaya, 1991, cités par DRSPR, 1992). Alors que dans le village de Gnalèlèkaha, les stratégies de résilience ont des limites en cas d'une pluviométrie élevé. Ce qui corobore avec les resultats de Assouman S., (2016, p5), pour lui les techniques culturales dans le contexte de récession pluviométrique sont très limitées car plusieurs questions restent sans réponses pour les exploitants de la plaine alluviale de la Bagoé.

Conclusion

Dans le village de Gnalèlèkaha la morphologie du paysage présente une l'inclinaison favorise considérablement le ruissellement des eaux de pluie. Ce qui implique la dégradation du sol. Ainsi la population locale réalise des stratégies de résilience à la dégradation. Mais ces stratégies sont limitées par la forte pluviométrie, la morphologie du paysage et le manque de moyen.

Remerciement

Aux docteurs Diobo Kpaka sabine epse Doudou et Assouman Serge Fidèle, tous deux géographes et maîtres de conférences à l'Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo. Nous avons bénéficié de leurs sorties et conseils sur le terrain.

Bibliographie

Adja M. G. et al. 2009 : Diagnostic à la mi- saison sèche de l'état hydrique du bassin versant de la Bagoé (Milieu soudano-sahélien de Côte d'Ivoire) à l'aide d'image ETM+ de Landsat. Sécheresse, 253-261S

Assouman S.F., et al. 2016 : morphologie du paysage, variabilité pluviométrique et aménagement de la plaine alluviale de la Bagoé : l'exemple de guinguerini au nord de la cote d'ivoire. Pp 5-17

Brou y. T., et al. 2005 : La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles. Cahiers Agricultures, vol 14, n°6, nov.-déc. 533-540

Girard M.G. 1961 : Etude du bassin de la Haute Bagoé. Résultats de la campagne 1960, ORSTOM, 82p

Naoko I., 2014 : Combattre la dégradation des sols dans les zones d'activité économique

Sultan Benjamin et al. 2017 : Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. 463p consulté en ligne le 25 Janvier 2025, https://books.openedition.org/irdeditions/8914

Roose E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bulletin Pédologique de la FAO, Rome, n° 70 : 420 p

VANO M. et al. 2013 : Variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques et son incidence sur le tarissement dans les bassins-versants de Bo et de Débo (département de Soubré au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028 9324, volume 2, n°3, Mars, 287-299

CLIMAT ET RESSOURCES EN EAU

ASSESSMENT OF WATER AVAILABILITY AND WATER STRESS IN THE LOWER OGUN DRAINAGE BASIN

Olusegun ADEAGA

University of Lagos, Nigeria, oadeaga@unilag.edu.ng

Abstract: *This study examines water availability and stress in the lower Ogun basin in Nigeria from 2000 to 2024. It uses CHIRPS, MODIS, and WorldPop data processed with Google Earth Engine. Average annual water availability is 1,279. 3 mm, with a deficit of 520. 3 mm and average Water Stress Index of 0.074, peaking at 0.117 in 2020 with increase in water availability (+5.35 mm/year) and a growing water stress (+0.0027/year). Future projections indicate a 10% decline in rainfall and a 10% rise in evapotranspiration by 2050, leading to significant water shortages and negative storage change. Urgent integrated water management and climate planning are needed to secure sustainable water futures in the basin.*

Key words: *available water, water stress, water shortage, water demand*

Résumé : Évaluation de la disponibilité en eau et du stress hydrique dans le bassin versant de l'Ogun inférieur. *Cette étude examine la disponibilité en eau et le stress hydrique dans le bassin inférieur de l'Ogun (Nigéria) de 2000 à 2024. Les données CHIRPS, MODIS et WorldPop ont été analysées via Google Earth Engine. La disponibilité moyenne annuelle est de 1279,3 mm, avec un déficit de 520,3 mm. L'indice de stress hydrique moyen est de 0,074, atteignant 0,117 en 2020. Une légère hausse des précipitations est observée (+5,35 mm/an). Cependant, la croissance démographique et l'évapotranspiration aggravent le stress hydrique. Les projections indiquent une baisse des précipitations et une hausse de la demande d'ici 2050. Des actions urgentes en gestion intégrée de l'eau et en planification climatique sont nécessaires.*

Mots clés : *eau disponible, stress hydrique, pénurie d'eau, demande en eau*

Introduction

The projected global water demand is to rise to 55% by 2050 with dire consequences of about 1.8 billion people living in absolute scarcity by 2025 and 4.8 billion facing high water stress by 2050. This is obvious since the freshwater resources support for livelihood is fast depleting both in quality and quantity, its scarcity has therefore led to disasters globally (FAO & UN-Water, 2024; Mekonnen and Hoekstra 2016).

Water stress is an escalating global issue driven by heightened per capita water demand resulting from population growth, urbanization, agricultural demands and climate change phenomena, pollution, as well as inefficient water management. With an average water stress index of 40%, many countries in sub-Saharan Africa do experience significant shortages. Water stress affects a substantial portion of the population resulting from the uneven water distribution, population growth, and inadequate management of water resources in the region. It is projected that by 2050 in SSA, about 800 million people will facing water stress issues (Caretta et al, 2022).

The Lower Ogun River Basin experienced significant dry spells in 1988, 1990, 1998, 2006, and 2009 with mild to moderate water stress ($0.2 \leq WSI < 0.4$). It is expected that population growth and climate change could push demand to 4.5 billion m^3/year, thereby increasing the water stress to ~31.3%. Going by the increasingly per capita water demand, climate change coupled with poor water management issues, there is a need to promote long-term water resources sustainability in the drainage basin through comprehensive strategies and technological responses (Ojelabi et al., 2023; Matchawe et al., 2022). In this study, the inter-annual variation in water availability and water stress was carried out in order to provide the necessary index needed for effective and efficient water resources planning and management in the Lower Ogun River basin.

1. Regional setting

The Lower Ogun River Basin flows through **Oyo, Ogun, and Lagos States**, and drains into the **Lagos Lagoon and the Atlantic Ocean** (Fig. 1). It is a hydrological region in southwestern Nigeria, with a total catchment area of ~23,700 km^2. The basin has a tropical humid climate, with an annual

rainfall range of 900 mm – 2,000 mm with distinct wet seasons and dry seasons. Ogun River, along with tributaries like the Oyan, Ofiki, and Awun Rivers, serves as the primary water source in the drainage basin, but seasonal fluctuations and dam regulation issues affect flow stability. The Oyan Dam, with **a reservoir capacity of** 270 million m³, remains the key water storage and regulation facility but often contributes to flooding in downstream communities when excess water is released.

Thus, the Lower Ogun River Basin is an essential hydrological and socio-economic region in southwestern Nigeria, covering parts of Ogun and Lagos States. It plays a critical role in water supply, agriculture, and flood management. Even though the basin has significant surface and groundwater resources, their distribution is uneven due to seasonal variations and anthropogenic pressures. Hence, the lower Ogun River basin is highly vulnerable to climate variability due to its geographic location at the southern edge of western Nigeria and the ill-managed water resources plan in the wake of uncertainties in future demand and availability of water ((Adeyemi et al, 2020). The drainage basin also faces increasing flood risks due to climate change, urban expansion, and land-use changes and increasing water stress due to seasonal water scarcity, pollution, and urbanisation pressures. A comprehensive flood risk management plan combining structural and non-structural measures is therefore essential for reducing damage and ensuring sustainable water management to ensure long-term water security in the region.

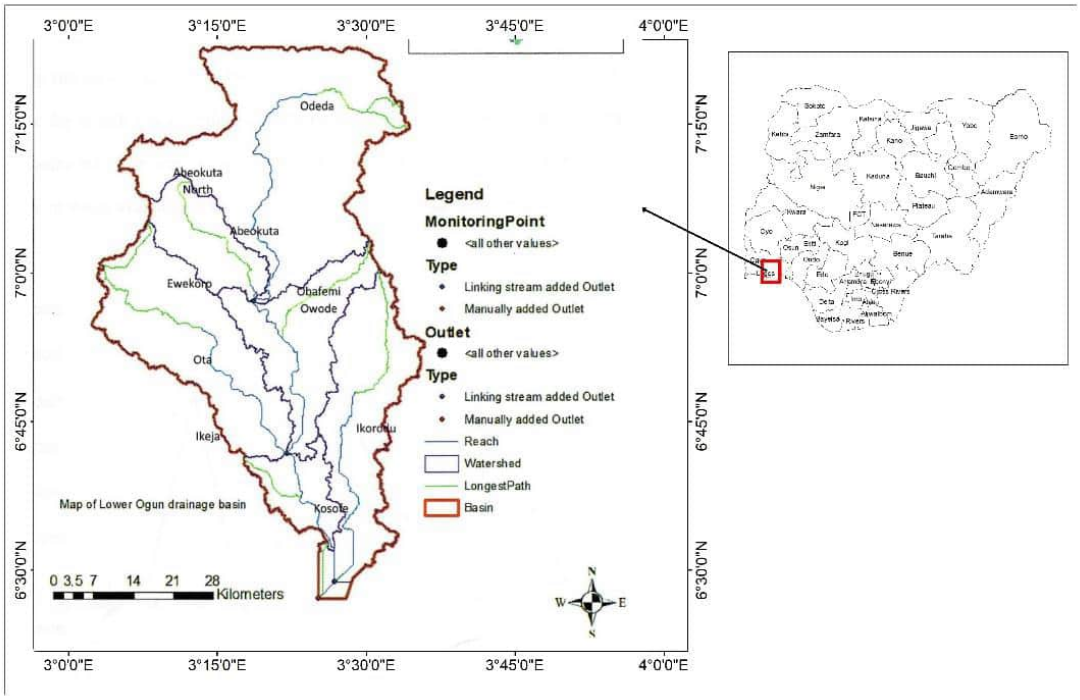


Figure 1: Lower Ogun River Basin

2. Methodology

The data source approach entails acquiring remotely sensed satellite imagery from the Google Earth Engine (GEE) repository. Data loaded are the CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data) at a 0.05° (~5 km) resolution, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) - MOD16A2 at 500 m resolution, and WorldPop/GP/100m/pop at a reduced scale of 500m for better spatial resolution. These datasets were processed in Google Earth Engine (GEE) to analyse temporal trends and spatial variations, while the anomaly detection and statistical tests were performed to assess variability and extreme events.

The preprocessing stage entails cloud masking of the MODIS data with additional filtering techniques to improve data quality. CHIRPS daily precipitation data was aggregated to monthly scales, and the average of the MOD16A2 ET data over the study period (2000 – 2024) was carried out to match

precipitation aggregation while the CHIRPS data was resampled to match MODIS resolution for consistency in spatial analysis.

Water availability estimation entails computation of the cumulative rainfall, seasonal trends, and standardised precipitation anomalies from the CHIRPS data and the estimation of water loss through evaporation and transpiration using MOD16A2 data; the evapotranspiration value was multiplied by 0.1 to convert the value to millimetres (mm). The difference between precipitation (P) and evapotranspiration (ET) was computed as an indicator of water availability (eqn. i).

$$Water\ Availability = Annual\ Precipitation - Annual\ Evapotranspiration \quad \ldots\ldots\ldots \text{(i)}$$

The water shortage was estimated (eqn ii) quantitatively as;

$$Water\ Shortage = Water\ demand\ Threshold = (\ Precipitation - Evapotranspiration) \ldots \text{(ii)}$$

- If Water Shortage > 0: There is a shortage.
- If Water Shortage ≤ 0: There is no shortage

The water demand threshold was estimated based on regional water needs and population based on the WorldPop/GP/100m/pop dataset as;

$$Water\ Demand = Population * Per\ Capita\ Water\ use \quad \ldots\ldots\ldots\

Std. Error of Kurtosis	0.902	0.972	0.972
Minimum	262.431	941.224	0.055
Maximum	1324.078	1577.478	0.117
25th percentile	317.138	1127.097	0.059
50th percentile	384.579	1312.046	0.07
75th percentile	464.684	1388.415	0.086

Extreme high water stress years include 2013 (0.098), 2017 (0.111), and 2020 (0.117), probably due to a combination of increased water demand and reduced availability (Fig. 2). **The water availability trend of about an increment of +5.35 mm per year** suggests a slight **increase** in water availability over time. This could indicate improving precipitation patterns or changes (decrease) in evapotranspiration rates. **The water stress trend also increases with a** slope of **+0.0027 per year,** highly suggesting a **gradual increase** in water stress.

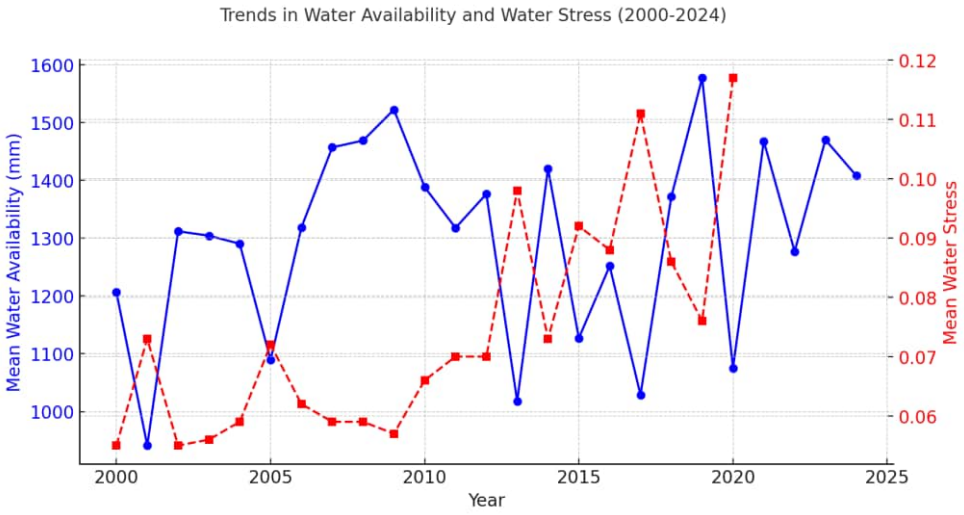


Figure 2: Water availability and water stress in Lower Ogun River Basin

A weak **negative correlation (-0.19)** was found between water availability and stress. This suggests that while low water availability may contribute to higher stress, other factors such as population growth and infrastructure efficiency also influence water stress levels. Higher water availability might also slightly reduce stress but not strongly. Meanwhile, issues relating to water availability might be linked to distribution or usage patterns since there is no clear decline pattern, while the increasing water stress suggests a growing strain on water resources.

The water stress index (WSI) is estimated at **≤ 12%**, indicating relatively low **to moderate stress** but expected to increase with urbanisation since per capita water d**emand is increasing faster than supply infrastructure, leading to localised water shortages.** This suggests, among others, a growing competition for water among domestic, agricultural, and industrial users, seasonal shortages, especially in the dry season (December–April), with a potential vulnerability to future climate change impacts and population growth. Upward water withdrawals due to urbanisation, agriculture, and industrial expansion can push the WSI to exceed 30-40% by 2050, thereby being susceptible to high water stress. Projected stress is expected to rise, reaching ~0.149 by 2040. **Implications of the increase include more frequent dry-season shortages** and **higher reliance on groundwater,** as well as i**ncreased competition for water** between urban areas, industries, and agriculture and f**looding paradox phenomena since the wet season floods will continue** due to extreme rainfall events, while the **dry season water scarcity will intensify.**

Based on the current and future water balance estimate (Table 2), water shortage is predicted for **2025-2050,** exceeding 1700mm by 2030 and beyond, without intervention due to depletion in the change in storage.

Table 2: Current vs. Future Water Balance Estimates

Water Balance Component	Current (2020s)	Projected (2050s)	Change (%)
Annual Rainfall (P)	~1,500 mm (35.55 billion m³)	~1,350 mm (31.99 billion m³)	**-10%** (Less precipitation)
Evapotranspiration (ET)	~21.33 billion m³	~23.46 billion m³	**+10%** (Higher temperature increases ET losses)
Change in Storage (ΔS)	**+1.82 billion m³**	**-1.57 billion m³**	**Negative storage trend (water depletion)**

Conclusion and Recommendation

The Lower Ogun River Basin is currently water-stressed but needs to urgently focus on a sustainable water management plan since increased per capita water demand and climate change phenomena will drive severe water scarcity unless proactive adaptation measures are taken. Integrated Water Resource Management (IWRM) strategies are essential to balance water supply, demand, and climate resilience if available water is to be properly managed beyond 2050.

Thus, policy recommendations and climate change considerations in water management planning in the lower Ogun River basin should entail short-term policy actions (next 5 years) like water conservation incentives, groundwater extraction regulation plans, public awareness campaigns and leakage control on water infrastructure, as well as investing in predictive climate modelling and water storage solutions, among others. Long-Term Policy Actions (2030 and Beyond) should entail integrated water resource management (IWRM), climate-resilient infrastructure plans, precise extreme events management plans and appropriate water pricing strategies.

References

Adeyemi, O., Olutoyin, F., & Olumide, O., 2020: Downstream hydraulic geometry across headwater channels in upper Ogun River basin, southwestern Nigeria. *African Geographical Review*, ***39*(4)**, 345-360.

Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid, 2022: Chapter 4: Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

FAO and UN-Water, 2024: Progress on the level of water stress – Mid-term status of SDG Indicator 6.4.2 and acceleration needs, with special focus on food security - 2024. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cd2179en

Ojelabi, O., Hounkpè, J., Oluwasemire, K. O., and Lawin, A. E. (2023). Hydroclimatic trends, breakpoints and future projection analysis of the Ogun River Basin in West Africa. *Water Practice & Technology*, *18*(9), 2023-2044.

Matchawe, C., Bonny, P., Yandang, G., Mafo, H. C. Y., and Nsawir, B. J., 2022: Water shortages: Cause of water safety in sub-Saharan Africa. In *Drought-impacts and management*. IntechOpen.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y., 2016: Four billion people facing severe water scarcity. *Science advances*, ***2*(2)**, e1500323.

SACHET WATER QUALITY AND FACTORS AFFECTING COMMERCIAL WATER OPERATORS IN LAGOS METROPOLIS, NIGERIA

Isaiah S. AKOTEYON[1] and D. Japhet KODJA[1,2]

[1]*Lagos State University, Ojo-Lagos, Nigeria, Department of Environmental Management, email:* isaiah.akoteyon@lasu.edu.ng

[2]*Laboratory Pierre Pagney Climate, Water, Ecosystems and Development (LACEEDE), University of Abomey-Calavi, Benin Republic,* Japhet.kodja@uac.bj

Résumé : La présente étude a évalué la qualité de l'eau en sachet et les facteurs influençant les opérateurs *commerciaux à Lagos. L'association des paramètres physico-chimiques avec la conductivité électrique (EC) montre une forte corrélation avec une valeur p significative de 0,001. L'analyse factorielle explique 76,25 % de la variance totale avec deux facteurs représentant l'anthropisation et la salinité. La qualité de l'eau est conforme aux normes de l'OMS pour la consommation. Les principaux facteurs affectant les opérateurs sont l'approvisionnement électrique irrégulier, le coût élevé du carburant et la concurrence. Le coût élevé de production peut conduire à des pratiques douteuses compromettant la qualité de l'eau. Une surveillance stricte des agences de régulation est recommandée pour garantir les meilleures pratiques*

Mots clés : *Opérateurs commerciaux d'eau, analyse factorielle, métropole de Lagos, qualité de l'eau en sachet*

Abstract: *The present study examined sachet water quality and factors affecting commercial water operators in Lagos metropolis. The association of the physico-chemical parameters with EC indicates high correlation with significant p-value at .001 level. The factor analysis explains 76.25% of the total variance with the extraction of two factors representing anthropogenic and salinity factor. The study concluded that the water quality is within the WHO limit for drinking. Regarding the factors influencing commercial water operators, 3 main factors were identified namely erratic power supply, high cost of fuel and competition among operators. We concluded that high cost of production may result in sharp practices that can compromise the quality of the water for human consumption. We recommend strict monitoring by the regulatory agencies to ensure the best standard practices in the area.*

Keywords*: Commercial water operators, factor analysis, Lagos metropolis, sachet water quality*

Introduction

Lack of safe drinking water is one of the world's leading challenges affecting more than 1.1 billion people globally. As a result of the inability of the public water agencies to meet up with the supply and demand of the populace, a lot of commercial water operators have sprung up with various branded water ranging from bottled to sachet water, whose quality cannot be guaranteed. Most of the megacities in the world are confronted with various challenges such as saline water intrusion, inadequate water supply, water quality deterioration, overexploitation of water resources, poor regulatory control coupled with population explosion and climate change phenomenon. The current population explosion and the daily influx of people into Lagos metropolis coupled with the rapid rate of urbanization and industrial activities are responsible for the pressure on groundwater resources for various uses. This development is a major concern to the urban planners and policymakers to ensure the sustainability of groundwater resources of the state. The uncontrollable rate at which commercial and private boreholes are sunk in the state has become very worrisome due to the alarming rate of the springing up of unregistered commercial water operators that dots the streets of Lagos metropolis. If this ugly trend is left unchecked or unregulated, it may result in groundwater deterioration and consequently environmental and health problems considering the alarming rate of the proliferation of unlicensed commercial boreholes operators who are responsible for the production of bottled and sachet water. Substantial studies have been carried out on the suitability of sachet and bottled water quality across the globe. Most of the studies focused on physicochemical, microbiological and trace elements using varied statistical techniques. For

example, Mosi et al (2019), Birzull et al (2019), Kolade et al (2022), Boadi et (2023), Bouhel et al (2023), Ayodele et al. (2024), Katonge and Namangaya (2024). They opined that globally; bottled water quality has been characterized by questionable quality due to the occurrence of contamination from varied sources exceeding local or international standards. This study, therefore, seek to examine sachet water quality and factors affecting commercial water operators in Lagos Metropolis, Nigeria.

1. Methodology

The study area is characterized by tropical climate with its geology consistent with the regional geology of the Lagos and is underlain by Coastal Plain Sand (CPS) aquifer as the principal aquifer accounting for more than 30% of groundwater supply for various needs. (Longe, 2011) (See Figure 1).

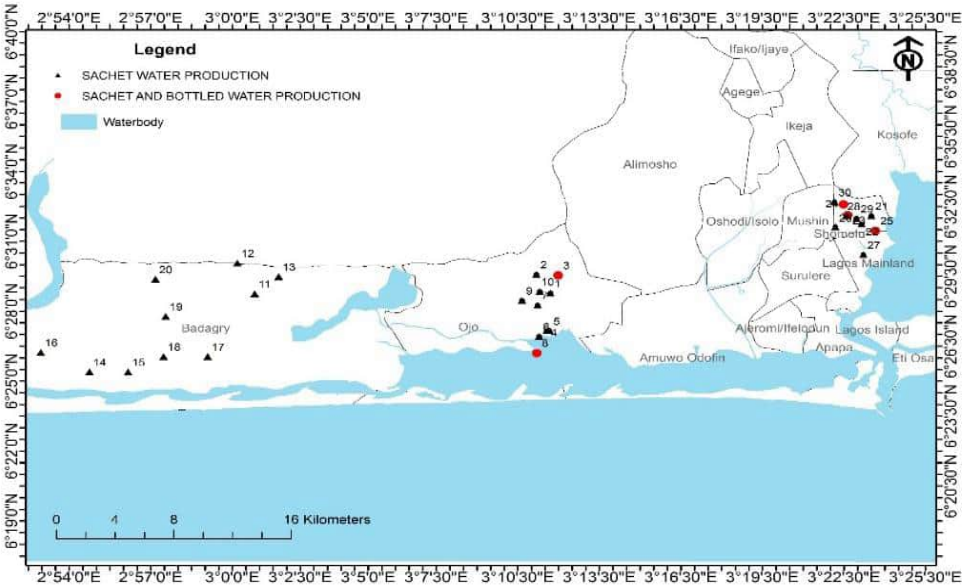


Figure 1: The sampling locations

1.1. Sources of data and techniques

1.1.1. Water quality assessment

Two sets of data were collected for this study. The first set of data was obtained from water quality assessment of sachet water samples collected from 30 locations using random sampling techniques in the study area. The water quality parameters were analyzed for seven parameters namely; pH, electrical conductivity, total dissolved solids, sodium, calcium, magnesium and chloride while total hardness was computed using Fournier (1981) method. See equation 1.

TH = 2.5 Ca (mg/L) + 4.1 Mg(mg/L)……..Eq. 1

Where Ca = calcium, Mg = magnesium

The parameters were analyzed using standard procedure according to APHA (1998). In situ parameters pH, TDS and EC were measured using potable meters pHep, TDS-3 HM Digital multi-parameter probe and DiSTEC HANNA single-parameter probe (HI7007 and HI98303) (Akoteyon et al., 2018).The internal consistency of the data set to identify inconsistencies was carried out using reliability test based on the charge balance error (CBE) formula by Apello and Postma (2005) in equation 2.See Akoteyon et al. (2018).

$CBE = (\sum cations - \sum anions) / (\sum cations + \sum anions) \times 100\%$.....Eq.2.

1.1.2. Social survey

The second set of data was obtained through social surveys. A total of 200 respondents were randomly selected from the association of commercial water producers in the study area. The survey was geared towards eliciting information on the challenges affecting the activities of commercial water producers. A total of 18 variables were used to analyze the factors influencing commercial water producers. The data were analyzed using, descriptive, correlation and factor analysis.

2. Results

2.1. Physico-chemical parameters of sachet water quality

The examined physico-chemical parameters of sachet water quality is presented in Table 1. The result shows that pH ranges from 5.2 to 7.2 with a mean value of 5.92. Electrical conductivity ranges from 7.0 to 325 µS/cm with a mean value of 123 µS/cm while TDS varied from 5.0 to 340.0 mg/L with an average of 87.53 mg/L. The pattern of relative variation (C.V %) shows that pH, Na, TH, Ca and Mg are homogenous while Cl, TDS and EC indicate heterogeneous nature (See Table 2). The concentration of Na, Ca, Mg and Cl range from 1.1-5.0, 10.0-40.0, 6.0-24.0, and 2.0-802.9mg/L with mean value of 2.43, 23.0, 14.3, and 32.7mg/L respectively. Computed TH varied from 49.6 to 190.2mg/L with an average value of 115.99mg/L.

Table 1. Physico-chemical parameters of sachet water quality

Code	pH	EC	TDS	Na	Ca	Mg	Cl	TH
Min	5.20	7.00	5.00	1.10	10.00	6.00	2.00	49.6
Max	7.20	325.0	340.00	5.00	40.00	24.00	802.9	190.2
Mean	5.92	123.0	87.53	2.43	23.00	14.27	32.65	115.99
S.D	0.60	88.19	75.81	0.83	8.58	5.46	145.5	43.2
CV(%)	10.12	71.70	86.60	34.31	37.30	38.26	445.6	37.26
WHO std	6.5-8.5	1000	500		200			

2.1.1. Correlation of physico-chemical parameters of sachet water quality

Table 2 presents the result of the association of the physico-chemical parameters of sachet water quality. The result shows that EC has a high correlation with TH, Mg, Ca and Na while its association with TDS indicated moderate relationship with significant p-value at .001 level.

Table 2. Correlation of physico-chemical parameters of sachet water quality

Parameters		**pH**	**EC**	**TDS**	**Na**	**Ca**	**Mg**	**Cl**	**TH**
pH	R	1							
	p-value								
EC	R	.100	1						
	p-value	.599							
TDS	R	.048	**.665****	1					
	p-value	.801	*.000*						
Na	R	*.033*	**.753****	**.646****	1				
	p-value	.861	*.000*	*.000*					
Ca	R	.230	**.757****	**.504****	**.652****	1			

	p-value	.221	*.000*	*.005*	*.000*				
Mg	R	.233	**.771****	**.516****	**.717****	**.946****	1		
	p-value	.215	*.000*	*.004*	*.000*	*.000*			
Cl	R	.373*	.113	.073	.008	.148	.145	1	
	p-value	.042	.552	.702	.969	.435	.444		
TH	R	.235	**.775****	**.517****	**.695****	**.986****	**.987****	.149	1
	p-value	.212	*.000*	*.003*	*.000*	*.000*	*.000*	.433	

***. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed). *. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).*

2.2. Factor analysis of water quality parameters

The result of the factor analysis explains 76.25% of the total variance with the extraction of two main factors (Table 3). Factor 1 accounted for 57.72% with high loading on 6 parameters namely, TH, Mg, Ca, EC, Na and TDS. Factor 2 accounted for 18.53% with high loading on 2 parameters i.e. pH and Cl.

Table 3. Rotated component matrix of water quality parameters

	Component factor	
Parameters	F_1	F_2
pH	.086	**.825**
EC	**.895**	.038
TDS	**.724**	-.077
Na	**.859**	-.099
Ca	**.907**	.228
Mg	**.926**	.215
Cl	.033	**.797**
TH	**.930**	.224
% of Variance	57.72	18.53
Cumulative %	57.72	76.25

2.3. Factor analysis of component matrix influencing commercial water producers

The descriptive analysis of the result of the FA influencing commercial water producers shows that the impacts can be classified into 3 main categories namely; high, medium and low representing 16.7, 44.4, 38.9% respectively. The high impacts is corroborated with the responses from about 93, 78.5 and 78% of the respondents who strongly agreed that high cost of HCD/F, EPS and CACWP influencing their activities. Similarly, MLFGA, HCSPM, HCCWT and HCTWC were identified as moderate impacts. The other variables were considered as low impacts influencing the activities of the commercial water producers (Table 4).

Table 4. Component matrix influencing commercial water producers

Variables	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	Mean ±SD
CACWP	.789	.126	-.439	.158	.094	4.01 ± 1.37
DOL	.837	.418	.005	.169	.049	3.39 ± 1.35
HCCWT	.902	.136	-.254	-.013	.003	3.57 ± 1.31
HCSPM	.588	-.256	.503	.401	.166	3.65 ± 1.23
DNAFDACA	.704	.068	.237	-.316	.362	2.9 ± 1.45
HCM	.855	.209	-.142	-.046	.199	3.37 ± 1.29
TAW	.149	.900	.088	.232	.017	2.23 ± 1.18
VPW	.362	.736	-.299	.143	-.334	3.06 ± 1.34
EPS	.109	.283	-.057	.665	.389	4.28 ± 0.96
HCD/F	.584	-.086	.263	.564	.121	4.48 ± 0.84
SFW	.093	.767	.195	.029	.350	2.08 ± 1.03
MLFGA	.061	.277	-.248	.393	.705	3.16 ± 1.33
HCDB	-.105	.182	-.055	.756	-.029	3.68 ± 1.12
COWS	-.378	.214	.753	-.003	-.010	2.18 ± 1.13
HCTWC	.058	.005	.633	.396	.451	3.57 ± 0.98
PS	-.069	-.039	.902	-.188	-.042	2.24 ± 1.07
HCWB	.350	-.052	.204	.012	.794	2.77 ± 1.09
POB	.471	.481	-.185	.429	.271	2.99 ± 1.07
% of Variance	26.31	15.24	15.08	12.53	11.19	
Cumulative %	26.31	41.56	56.63	69.16	80.36	

Conclusion

The present study examined sachet water quality and factors affecting commercial water operators in Lagos metropolis. The findings revealed a high correlation between the EC with TH, Mg, Ca and Na with significant p-value at .001 level significant. The factor analysis indicates two factors, namely, anthropogenic and salinity. The study concluded that the sachet water quality is within the WHO limit for drinking, however, the pattern of the relative variations indicating that pH, Na, TH, Ca and Mg are homogenous while Cl, TDS and EC are heterogeneous in nature. Regarding the factors influencing commercial water operators, 3 main factors, namely, erratic power supply, high cost of fuel and competition among operators significantly affect the operations of the operators. We concluded that considering the high cost of production, operators may engage in sharp practices that can compromise the quality of the water for human consumption. We recommend strict monitoring by the relevant regulatory agencies to ensure the best standard practices in the area.

References

Akoteyon, I.S., Balogun, I. I. and Soneye, A.S.O. (2018). Integrated approaches to groundwater quality assessment and hydrochemical processes in Lagos, Nigeria. Applied Water Science, 8:200. https://dx. doi.org/10.1007/s13201-018-0847-y

American Public Health Association (APHA)., 1998. Standard methods for the examination of water and wastewater, (20th Ed.), APHA, Washington DC, 2005–2605.

Appelo, C. A. J. & Postma, D., 2005. Geochemistry groundwater and pollution, 2nd edn. Balkema, Netherlands, Pp.635.

Ayodele et al. (2024) Ayodele, O. A, Lateef, S. K, Awotuya, I.O, Olufolabo, K.O, Daodu ,J. O., Fagbohun A. B.,et al (2024). Quality assessment of some bottled water sold in Sagamu metropolis, Ogun state, Nigeria. Medical and health sciences European med. H. Sci. E. J. 8(3)

Birzul, A. N., Pitilyak, D. A., & Videnin, I. I. (2019, June). Health and quality risk assessment of bottled water. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 272, No. 2, p. 022142). IOP Publishing.

Boadi, N. O., Saah, S. A., Badu, M., Baa-Poku, F., Odame, F., & Sakyi, P. O. (2023). Assessment of sachet water quality in Kumasi, Ghana. *Discover Water*, *3*(1), 24.

Bouhlel, Z., Köpke, J., Mina, M., & Smakhtin, V. (2023). Global bottled water industry: A review of impacts and trends. *University Institute for Water, Environment and Health, Hamilton, Canada*.

Fournier, R.O., 1981. Application of water Geochemistry to Geothermal exploration and reservoir engineering in L. Rybach and L.J.P. Muffler, (Eds.), Geothermal Systems, Principles and Case Histories, 109-143. Wiley, New York

Katonge, J.H and Namangaya, M.A (2024), Assessment of Bottled Drinking Water Quality, Safety and Community Perceptions in Dodoma City, Tanzania. Tanzania Journal of Science 50(2): 376-386

Longe, E.O., 2011. Groundwater resource potential in the Coastal Plain Sands Aquifers, Lagos, Nigeria. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 3 (1), 1-7.

Mosi L, Adadey SM, Sowah SA and Yeboah C. (2019). Microbiological assessment of sachet water "pure water" from five regions in Ghana. AAS Open Research 2019, 1:12. https://doi.org/10.12688/aasopenres.12837.2

ETUDE COMPARATIVE DE LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE) DANS LE BASSIN VERSANT DU MONO A L'EXUTOIRE D'ATHIEME(BENIN) ET DANS LE BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DU GOUFFRE A L'EXUTOIRE DE BAIE-SAINT-PAUL (CANADA)

Yvon Lionel Nicaise AMOUSSOU[1], Bignon Benoît Max ASSOGBA [2], Jean-Eudes AINAMON [2], Rodrigue SENOU[3], Guillaume N'KUAKOO [4], Fréderic LODOUHOUE[5], Mama DJAOUGA[2], Ismaïla TOKO IMOROU [2], Expédit Wilfried VISSIN [5]

1- Chaire Internationale de Physique Mathématiques et Applications (CIPMA), 072 B.P. 50 Cotonou et Département de Géographie, Université Laval, 2405, rue de la Terrasse, Québec (Québec) G1V 0A6, yvonci@yahoo.fr

2- Ecole Doctorale pluridisciplinaire de l'Université d'Abomey-Calavi et Laboratoire de Cartographie (LACARTO), Université d'Abomey-Calavi, BP 1338, max19.assogba@gmail.com ; dainamon2017@gmail.com; maloud75@gmail.com ; ismael_toko@gmail.com

3- Université d'Abomey-Calavi, Département de Psychologie, Université d'Abomey-Calavi, BP 1338, setonou1992@gmail.com

4- Université Catholique de l'Afrique de l'Ouest, Faculté des Sciences de l'Agronomie et de l'Environnement 04 BP 928 Cotonou, nkuakoochristian@gmail.com

5- Ecole Doctorale pluridisciplinaire de l'Université d'Abomey-Calavi et Laboratoire Pierre Pagney Climat Eau Ecosystème et Développement (LACEDEE), Université d'Abomey-Calavi, BP 1338, lodoufred@gmail.com ;exlaure@gmail.com

***Résumé** : Les déséquilibres climatiques et leurs conséquences sont des enjeux majeurs de notre temps (Vissin, 2007 et Koumassi, 2014). De nombreuses stratégies d'adaptation sont conçues et déployées en amont et en aval des risques découlant de ces déséquilibres mettant en exergue des services climatiques pour les populations (Infield et al. 2019 et Cocker 2020). La GIRE(Gestion Intégré des Ressources en Eaux) associée au SIAD (Système Intégré d'Aide à la Décision) permette d'amoindrir les risques hydroclimatiques dans la mesure où elle contribue à la prévention de ces risques. Dans la présente étude nous nous employons à comparer la GIRE de deux communes vulnérables aux déséquilibres climatiques. La méthodologie s'est appuyé sur des interviews semi structurés et des recherches documentaires d'une part et d'autres part de la méthode SWOT pour faire ressortir des similitudes et des différences dans la GIRE des deux communes.*

Mots clés : Déséquilibre Climatique, stratégies d'adaptations, gestion intégré des ressources (GIRE), système intégré d'aide à la décision (SIAD)

***Abstract:** Climate imbalances and their consequences are major issues of our time (Vissin, 2007 and Koumassi, 2014). Many adaptation strategies are designed and deployed both these imbalances and drawbacks, highlighting climate service for populations(Infield and al 2019 and Cocker 2020). Integrated Water Resources Management (IWRM) associated with Integrated Decision Support System helps to mitigate hydroclimatic risks. In this study, (we aim to compare the IWRM of two municipalities vulnerable to the climate crisis. The methodology relied on that deployed by Cocker (2020) for the IWRM aspect and that Coté (2004) for Integrated Decision Support System . The data comes from Météo Bénin and the contingency plan of the municipality of Athiémé on one hand and on the other hand from the https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique as well as the territorial diagnosis of Baie-Saint-Paul from a sustainable development perspective.*

Keywords: climate imbalances, adaptations strategies, IWRM (Integrated Water Resources Management), IDSS (Integrated Decision Support System).

Introduction

La gestion des ressources en eaux en ces temps de déséquilibre climatiques est une nécessité. Elle peut se décliner sous plusieurs aspects que sont institutionnels, techniques et endogènes (Amoussou, 2024). D'un continent à l'autre les stratégies d'adaptation se multiplient, constituant dans la plupart des cas les bases de la GIRE, (GIEC, 2014). La GIRE

s'appuie sur les principes d'équité, d'intégrité écologique et d'efficacité ainsi que sur la notion de bassin versant ou d'aquifère comme unité de gestion (ONU, 1977 et Jamin *et al* 2004). Les communes d'Athiémé au Bénin (6°35'00"et 1°40'00") et Baie-de-Saint-Paul au Canada (47°27'00"et 70°30'00") disposent d'exutoires naturels de longs fleuves (fleuve Mono pour la commune d'Athiémé et Fleuve Saint-Laurent pour la commune de Baie-Saint-Paul) avec des opportunités comme des menaces. Cette étude vise à élaborer une matrices SWOT (Strengths Weakness Opportunities Threats) de la GIRE dans les localités étudiées et à les comparer en vue d'une coopération Nord-Sud et climatique au niveau de la méthodologie.

1. La GIRE dans la commune d'Athiémé

L'organigramme de la GIRE dans la commune d'Athiémé est hiérarchique (figure 1) dans la mesure où les instructions proviennent successivement des structures centrales. Cet organigramme permet d'amoindrir d'éventuels problèmes liés aux financements. Notons que cette GIRE est impactée par gestion du barrage de Nangbéto qui influe de manière saisonnière sur la vie des populations locales (Amoussou, 2010).

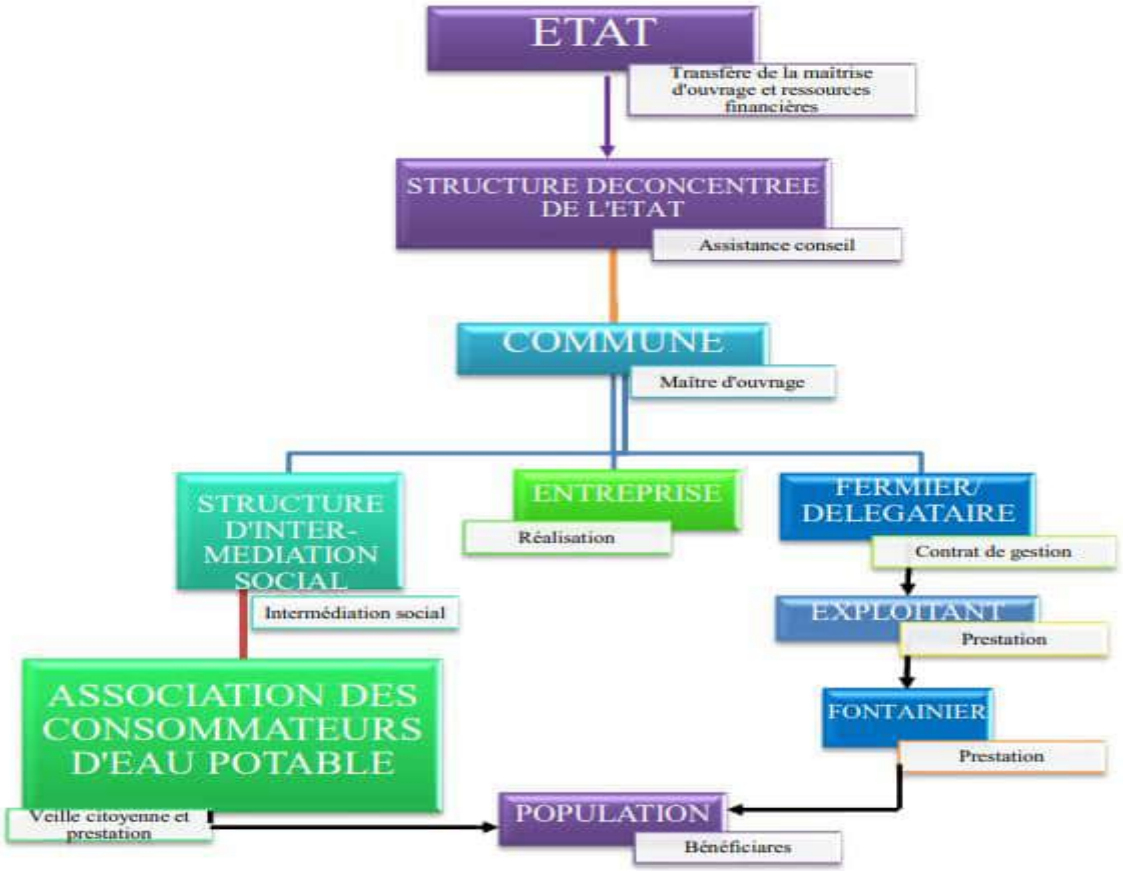


Figure 1. Organigramme des relations entre les différents acteurs intervenant dans la gestion des ressources en eau au Bénin / Source : Cocker, 2020.

Tableau 2: Synthèse de l'approvisionnement en eau à Athiémé

L'examen du tableau 2 montre que la GIRE dans la commune d'Athiémé est moins moderne que celle de la commune de Baie-Saint-Paul que nous étudions dans ce document car la GIRE

dans la commune d'Athiémé sollicite plusieurs interventions humaines avant

Besoins	Normes	Indicateurs clés
Approvisionnement en eau	1. Approvisionnement en eau : accès et quantité d'eau	• Consommation moyenne de 15 litres par personnes • La distance maximale séparant tout foyer du point d'eau est de 15 minutes
	2. Approvisionnement en eau : qualité de l'eau	• Une enquête bactériologique indique un risque de contamination • Vérification du niveau du chlore par litre d'eau
	3.Approvisionnement en eau :Installation et matériel pour l'utilisation	• Quantité d'eau par ménage • Quantité de savon disponible par personne pour l'hygiène

approvisionnement.

2. La GIRE dans la commune Baie-Saint-Paul

À Baie-Saint-Paul, le réseau d'eau potable municipal se divise en trois grandes parties (Figure 3) : des réservoirs, des puits de prélèvement de l'eau et deux réseaux de conduites, auxquels sont connectés les habitations, les divers bâtiments municipaux et bien sûr les bornes incendies. Les réservoirs, qui cumulent 5 300 m^3 d'eau, sont au nombre de quatre, répartis à divers endroits du territoire et, par ordre d'importance : Centre-ville (2000 m^3), Bas de-la-Baie (1900 m^3), rang Saint-Jérôme (700 m^3) et Balcon-Vert (700 m^3). On trouve aussi, disséminés dans le réseau, trois postes de réduction de pression servant à acheminer l'eau en terrain montagneux. En 2018, les deux réseaux, indépendants et d'une longueur totale de 57 601 m, desservaient respectivement 5 420 personnes pour l'aqueduc Baie-Saint-Paul et 113 personnes pour l'aqueduc de la Montagne, sur 1678 mètres ,un allongement de 2726 mètres par rapport à 2017.

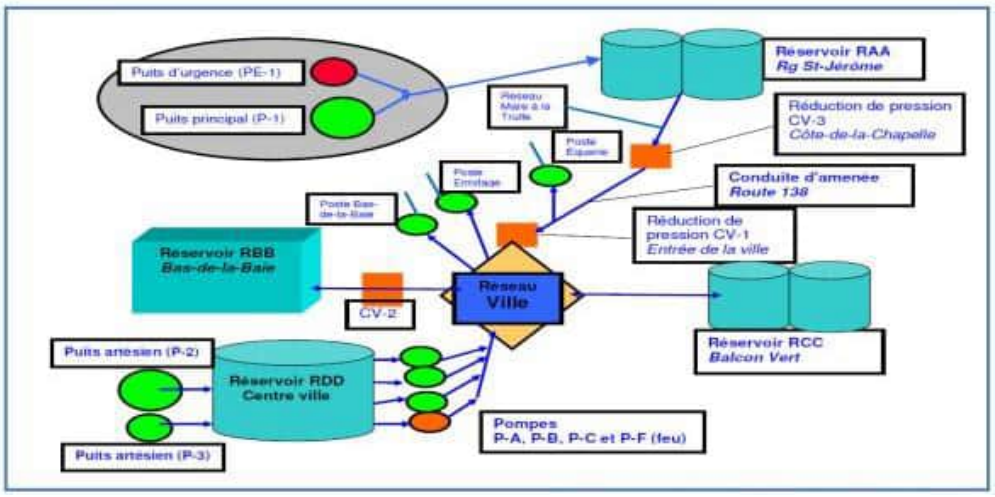


Figure 3. Réseau d'eau potable de la municipalité de Baie-Saint-Paul / source : ville de Baie-Saint-Paul, 2021

3. Les Matrices SWOT

Tableau 2. Matrice SWOT de la commune d'Athiémé / source : Plan de contingence de la commune d'Athiémé 2021

Athiémé	Forces	Faiblesses	Menaces	Opportunités

	- Température moyenne de 27 degrés toute l'année -Climat stable et favorable à l'agriculture	-GIRE faisant intervenir un haut niveau de manipulation par des humains -Absence d'infrastructure hôtelière -Commune n'appartenant pas à la Convention mondiale des maires pour le climat et l'énergie (CMMC).	- Inondation - Conflits entre éleveurs et agriculteurs - Incendies -Erosion des berges	-Développement des cultures de contre saisons -Fédération avec les autres communes ayant le fleuve Mono en commun -Jumelage avec les communes vulnérables aux changements climatique comme celle de Baie Saint Paul au Canada

Tableau 3. Matrice SWOT de la commune de Baie-Saint-Paul/ source : Portrait des changements climatiques et identifications des impacts et risques pour la ville de Baie-Saint-Paul, 2021

Baie-Saint-Paul	Forces	Faiblesses	Menaces	Opportunités
	-Forte implication des partenaires locaux, gouvernementaux et ONG pour une ville durable. -La Ville de Baie-Saint-Paul (BSP) fait partie de la première cohorte du projet Villes vitrines dirigé par la Convention mondiale des maires pour le climat et l'énergie (CMMC) au Canada.	- Surconsommation d'eau en été.	-Augmentation des crues printanières -Risque d'érosion -Risque d'inondation et de submersion temporaire - Stress hydrique sur les cultures et augmentation de la demande en eaux Prolongement de la saison touristique -Aggravation des conséquences liées aux îlots de chaleur urbains - Hausse des GES liés à la climatisation - Recrudescence des feux de forêt. -Durabilité de la gestion intégrée des ressources en eau.	- Immigration diversifiée qui apporte de la main d'œuvre face à la baisse de la natalité. - Programme et projet provinciaux et fédéraux. - Jumelage avec les communes d'Afrique.

Conclusion

Athiémé et Baie-Saint-Paul, deux localités très vulnérables au changement climatique et qui ont intégré la lutte contre les effets du déséquilibre climatique dans leurs activités par une gestion intégrée des ressources en eaux (GIRE) proactives. Bien que la gestion intégrée des ressources en eau à Athiémé soit moins moderne que celle de Baie-Saint-Paul, elle permet aux populations à travers des mesures endogènes d'amoindrir les effets des changements climatiques tout en évitant les surconsommations et en n'ayant pas d'impact significatif sur l'environnement même s'il existe des perturbations liées à la construction du barrage de Nangbéto et au déséquilibre climatique. Il est important de quantifier et d'analyser encore plus les indicateurs de qualité de la GIRE à Athiémé à l'instar de ce qui se fait du coté de Baie-Saint-Paul dont la GIRE est plus moderne avec aussi des problèmes de surconsommation d'eau en période d'été liés au poids du tourisme. Une collaboration entre les deux mairies mettra en valeur les atouts de ces deux communes.

Remerciements: Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les Professeurs Expédit Vissin, Ismaïla Toko Imorou pour leurs précieux conseils. Luce-Ann Tremblay, Directrice des communications et du développement durable de la commune de Baie-Saint-Paul pour les informations actuelles sur la commune de Baie-Saint-Paul et Cyrille Adankanhounde, point focal du plan de contingence de la commune d'Athiémé.

Bibliographie

Amoussou E., 2010 : Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'ouest) 315 pages

Amoussou Y., 2024 : Gestion des risques hydroclimatiques dans le bassin versant du Mono à l'exutoire d'Athiémé. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 200 pages.

Cocker F, 2020 : Cartographie et Gestion Intégrée des Ressources en Eau dans le contexte des changements climatiques dans la basse vallée de l'Ouémé au Bénin. Thèse de Doctorat Université de Parakou, Bénin 319 pages.

Dancette Raphaëlle *et al*., 2021 : Portrait des changements climatiques et identifications des impacts et risques pour la ville de Baie-Saint-Paul, 39 pages

Dansou Saturnin *et al*., 2021 : Plan de contingence communal (PCC) de la commune d'Athiémé au Bénin (Afrique de l'Ouest), 93 pages.

Dery Steve *et al*., 2022 : Etude concernant l'impact du tourisme sur la consommation d'eau potable à Baie-Saint-Paul, Les cahiers de l'institut EDS, 60 pages.

GIEC, 2014 : Climate change, impacts, adaptations et vulnérabilités, 187 pages

Gössling et al., 2015 : Évaluation de l'impact environnemental mondial du tourisme 1900-2050, 20 pages.

Jamin J., et *al* 2011 : Gestion des ressources en eau pour le développement local : gouvernance, institutions et politiques ». A. Natures Sciences Sociétés 14, 420-422 (2004).

Koumassi H., 2014 : Risques hydroclimatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota, Thèse de Doctorat, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 267 pages.

Ministère de l'eau, 2015: Plan d'action national de gestion intégrée des ressources en eau -PANGIRE – 122 pages

Vissin E. W., 2007, Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des eaux de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger (Thèse de doctorat de 3° cycle). Université de Bourgogne, Dijon, France, 267 pages.

Ville de Baie-Saint-Paul, Novembre 2005 : Diagnostic du territoire de Baie-Saint-Paul dans une perspective de développement durable, 42 pages.

ONU, 14-25 March 1977 : Mar del Plata action plan, 187 pages.

DYNAMIQUES SAISONNIERES DE L'ACCES A L'EAU ET CONTRAINTES ASSOCIEES DANS L'ARRONDISSEMENT DE TCHAOUROU

Josabeth Astrid ANGO[1] ; Sidonie Clarisse HEDIBLE[2] ; ErnestAMOUSSOU[3] ; Expédit W. VISSIN ; Michel BOKO

[1]***L**aboratoire Pierre PAGNEY, **C**limat, **E**au, **Écosystèmes** et **D**éveloppement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (Bénin),* asqueen2984@gmail.com

[2]*Département de Sociologie et d'Anthropologie, Université d'Abomey-Calavi,*

[3]*Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université de Parakou, Parakou, Bénin,*

***Résumé :** L'accès à l'eau potable demeure un défi majeur dans l'arrondissement rural de Tchaourou, au Nord-Bénin, caractérisé par un climat sud-soudanien. Cette étude mixte, basée sur l'enquête de 345 ménages et l'observation, analyse les modes d'approvisionnement et les contraintes associées. Les Forages à Pompe à Motricité Humaine (FPMH) dominent l'utilisation (55% global, 50% en saison sèche, 47% en saison pluvieuse), complétés par les Puits Modernes et Points d'Eau Aménagés. Cependant, l'accès est significativement entravé par le temps d'attente (55%), la distance (25%, moyenne de 400m), le prix (15%, perçu cher par 89% des ménages), et la qualité de l'eau, source de maladies. Ces contraintes soulignent que, malgré la présence d'infrastructures, un accès équitable et sécurisé nécessite une gestion optimisée, une meilleure planification spatiale et des politiques d'accessibilité économique adaptées.*

***Mots clés** : Tchaourou, Accès à l'eau potable, Contraintes, Saisonnalité, Infrastructures hydrauliques*

***Abstract: Seasonal dynamics of access to water and associated constraints in the Tchaourou district.** Access to drinking water remains a major challenge in the rural district of Tchaourou, in northern Benin, characterized by a South Sudanese climate. This mixed study, based on a survey of 345 households and observation, analyzes supply methods and associated constraints. Human-powered pumped boreholes (HPPBs) dominate use (55% overall, 50% in the dry season, 47% in the rainy season), supplemented by modern wells and developed water points. However, access is significantly hampered by waiting time (55%), distance (25%, average of 400m), price (15%, perceived as high by 89% of households), and water quality, a source of disease. These constraints highlight that, despite the presence of infrastructure, equitable and secure access requires optimized management, better spatial planning, and appropriate affordability policies.*

***Keywords:** Tchaourou, Access to drinking water, Constraints, Seasonality, Hydraulic infrastructure*

Introduction

L'accès à l'eau constitue un enjeu stratégique pour le développement socio-économique et la santé publique, particulièrement dans les zones où les ressources hydriques sont inégalement réparties. Au Bénin, malgré les efforts déployés pour améliorer la couverture en infrastructures hydrauliques, de nombreuses localités rurales continuent de rencontrer des difficultés d'approvisionnement (Koumassi, 2009 ; Fangnon *et al.,* 2016 ; Zodékon et Odoulami, 2024). C'est précisément le cas de l'arrondissement de Tchaourou, comme le souligne déjà Voitan (2024) dans ses travaux, où divers facteurs (éloignement, topographie, état des voies, etc.), souvent mis en lumière par les plans de développement communaux (Mairie Tchaourou, 2024), conditionnent fortement l'accès aux ouvrages hydrauliques existants. La présente étude se propose d'analyser en profondeur les modes d'accès à ces ouvrages dans l'arrondissement, afin de mieux comprendre les inégalités spatiales et les contraintes d'usage rencontrées au quotidien par les populations.

1 Situation géographique

Tchaourou est l'un des sept arrondissements de la commune de Tchaourou dans le département du Borgou au Nord du Bénin. Il est situé entre 9°0'0'' et 9°16'30'' de latitude nord et entre 2°30'30'' et 2°47'0'' de longitude est. Le milieu d'étude est limité au nord par l'arrondissement de Tchatchou, au sud par la commune d'Ouèssè, à l'Ouest par

l'arrondissement de Goro et à l'Est par le Nigeria. La figure 1 présente la situation géographique de l'arrondissement de Tchaourou dans la commune de Tchaourou.

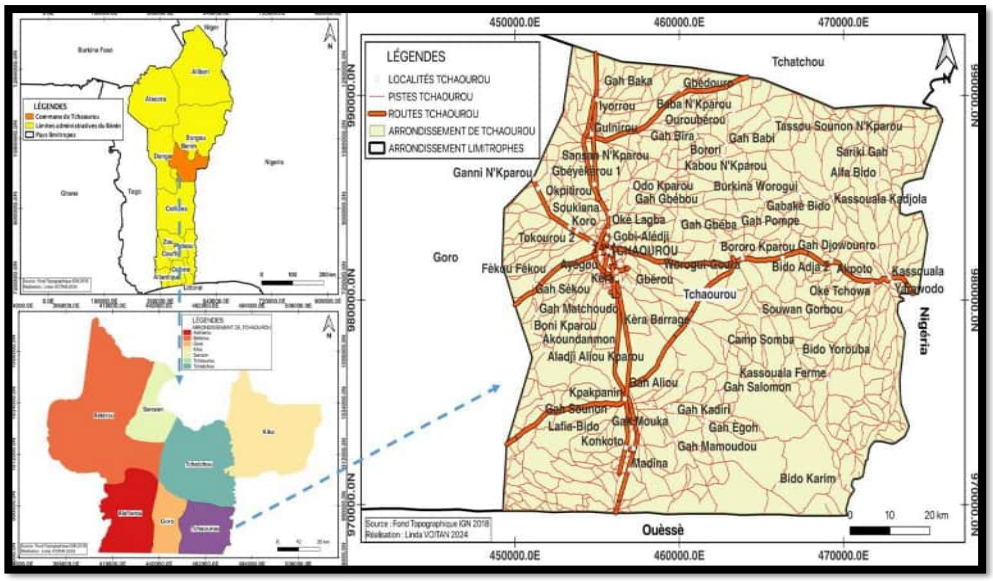


Figure 1. Situation géographique de l'arrondissement de Tchaourou

L'arrondissement compte 19 villages que sont : Akoudanmon, Boronin, Borori, DagbaraGourou, Gah-Kpénou, Gango, Gbéyékérou, Guinirou, Kassouala, Kèra, Kpakpanin, Lafia-bido, Owodé, Tchalla, Tchaourou, Tchaourou-Gobi-Alédji, Tchaourou-issalé, Worogui-goura, Yambo.

Tchaourou est dans une zone intertropicale aux caractéristiques climatiques variées. Il est soumis à l'influence du climat sud-soudanien. Il s'agit d'un climat uni modal caractérisé par une saison sèche de novembre en mars et une saison humide commence d'avril à octobre. Les totaux pluviométriques varient entre 1 100 et 1 200 mm/an et compte entre six et sept mois humides au cours de l'année.

Le réseau hydrographique de l'arrondissement de Tchaourou est très peu diversifié. Il s'agit des cours d'eau permanents et temporaires qui sont en réalité les affluents des fleuves Ouémé et Okpara.

2. Données et méthodes

2.1. Données utilisées

Plusieurs types de données sont utilisées dans le cadre de ce travail. IL y a les données pluviométriques (Période 1991-2022) sur la station de Parakou à météo-Bénin, pour l'analyse saisonnière : les données démographiques issues de l'INStaD (RGPH4, 2013) pour l'arrondissement de Tchaourou ; les données hydrauliques qui sont collectées par observations directes sur le terrain (inventaire typologique et spatial des FPMH, PEA privés, puits, etc).

Enfin les données socio-économiques et d'usage ont été recueillies auprès des ménages, elles couvrent la fréquence d'utilisation des sources par saison, les prix de l'eau, et les contraintes perçues (temps d'attente, distance, prix, disputes, qualité).

2.2. Méthodes utilisées

L'échantillonnage, opéré par choix raisonné, a ciblé 345 ménages (soit environ 5% des ménages de l'arrondissement) dans 19 villages sélectionnés. La collecte a été menée par Questionnaires structurés auprès des ménages, entretiens semi-directifs avec des personnes

ressources (personnels hydrauliques, autorités locales, agents de santé) et observations directes pour l'inventaire des ouvrages.

Les données quantitatives ont été traitées sous Microsoft Excel pour des statistiques descriptives (fréquences, pourcentages, moyennes). Les données qualitatives issues des entretiens ont fait l'objet d'une analyse de contenu thématique. Le consentement éclairé des participants et la confidentialité des informations ont été garantis.

3. Résultats

3.1 Répartition spatiale et typologie des ouvrages hydrauliques

Dans l'arrondissement de Tchaourou, différents types d'ouvrages hydrauliques ont été visités dans 6 quartiers/villages. La figure 2 présente ces ouvrages et ces sources d'approvisionnement dans les différents arrondissements de la commune de Tchaourou.

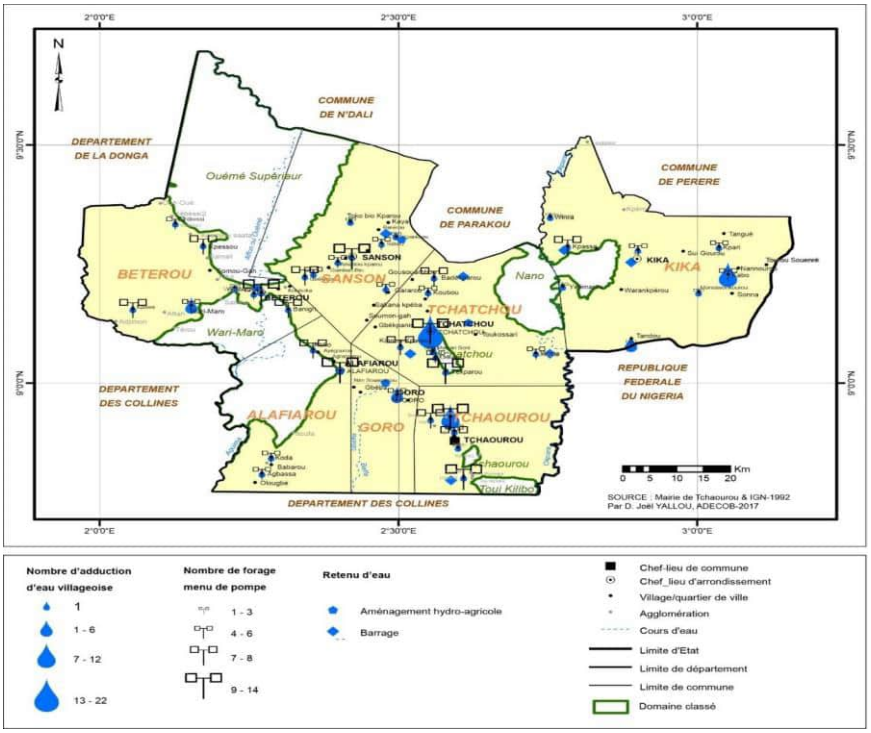


Figure 2. Carte de la couverture en infrastructures hydrauliques de la commune de Tchaourou

De la figure 2, différents ouvrages hydrauliques sont recensés dans l'arrondissement de Tchaourou. Il s'agit des barrages, FPMH, PEA privés, puits modernes, les châteaux d'eau et les puits à grand diamètre. Les FPMH sont les plus répandus dans tout l'arrondissement. De plus, il y a la présence des puits à grand diamètre dans la plupart des villages. la fréquence d'utilisation des sources d'approvisionnement en eau dans l'arrondissement de Tchaourou révèle une nette prédominance des forages à pompe à motricité humaine (FPMH), qui concentrent 55% de l'utilisation. Les puits modernes (PM) viennent en seconde position avec 20%, confirmant une orientation vers des sources plus sûres et potentiellement mieux gérées, signe d'une certaine modernisation de l'accès à l'eau dans la zone. Malgré la présence des FPMH et PM, les puits traditionnels (PT) représentent encore 15% des usages. Cette persistance indique que, pour une part non négligeable de la population, l'accès aux sources améliorées est insuffisant d'une part et confronté à des barrières (coût, distance, panne des équipements modernes) d'autre part, poussant ainsi les ménages vers des solutions potentiellement moins hygiéniques

3.2 Fréquences d'utilisation des différentes sources par saison

3.2.1. Fréquence d'utilisation des différentes sources en saison sèche

Toutes les sources d'approvisionnement en eau ne sont pas utilisées de la même manière selon les différentes saisons. La Figure 2 illustre la répartition de la Fréquence d'utilisation des différentes sources d'approvisionnement en eau en saison sèche, révélant la dépendance des ménages vis-à-vis des infrastructures améliorées.

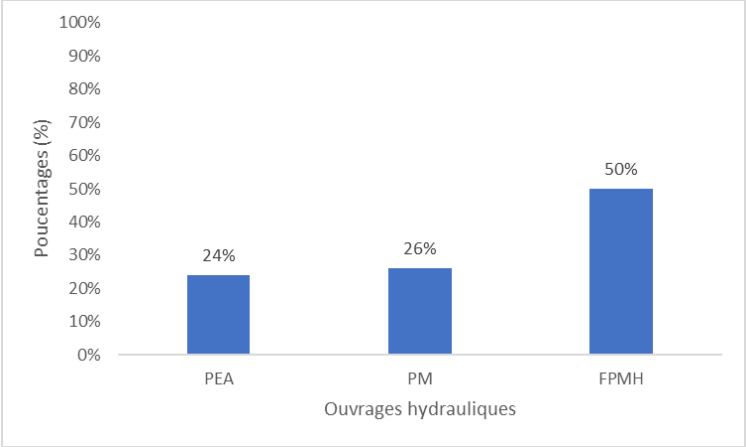


Figure 2. Fréquence d'utilisation des différentes sources en saison sèche

Source : Travaux de terrain, janvier 2024

L'analyse de la fréquence d'utilisation des sources d'approvisionnement en eau en saison sèche à Tchaourou révèle une nette dominance des Forages à Pompe à Motricité Humaine (FPMH) à 50%. Cette prépondérance souligne leur rôle crucial comme source principale et résiliente durant cette période de raréfaction hydrique, souvent due à l'assèchement d'autres points d'eau.

Les Puits Modernes (PM) à 26% et les Points d'Eau Aménagés (PEA) à 24% complètent cette configuration, démontrant une forte dépendance des populations envers des infrastructures d'eau améliorées et fiables. L'absence d'utilisation significative de sources non aménagées en saison sèche confirme la vitalité de ces ouvrages modernes pour garantir l'accès à l'eau potable lorsque la ressource est la plus critique.

3.2.2. Fréquence d'utilisation des différentes sources en saison pluvieuse

La Figure 3 présente la Fréquence d'utilisation des différentes sources d'approvisionnement en eau en saison pluvieuse, illustrant l'évolution des pratiques des ménages durant cette période

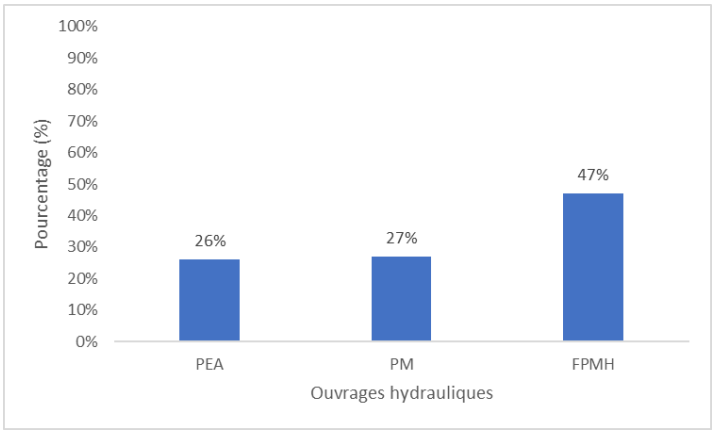


Figure 3. Fréquence d'utilisation des différentes sources en saison des pluies

Source : Travaux de terrain, janvier 2024

L'analyse de la fréquence d'utilisation des sources d'approvisionnement en eau en saison des pluies à Tchaourou met en lumière des dynamiques distinctes par rapport à la saison sèche. Les Forages à Pompe à Motricité Humaine (FPMH) demeurent la source prépondérante avec 47% de l'utilisation, indiquant leur rôle central quelle que soit la saison, grâce à leur fiabilité.

Cependant, l'observation des données révèle une augmentation significative de l'utilisation des Points d'Eau Aménagés (PEA) à 26% et des Puits Modernes (PM) à 27%. Cette hausse, comparativement à la saison sèche, suggère que la recharge des nappes phréatiques et la disponibilité accrue de l'eau durant la saison des pluies rendent ces sources plus accessibles et fonctionnelles. La légère baisse de la dépendance aux FPMH par rapport à la saison sèche (passant de 50% à 47%) et l'accroissement des autres sources améliorées témoignent d'une diversification des options d'approvisionnement en eau potable, allégeant potentiellement la pression sur les seuls forages à pompe humaine pendant cette période.

4.2. Contraintes liées à l'accès à l'eau potable dans le milieu d'étude

La population de l'arrondissement de Tchaourou est confrontée à plusieurs contraintes liées à l'approvisionnement en eau potable qui sont susceptibles de réduire le volume d'eau par jour. La figure ci-après classe les différentes contraintes.

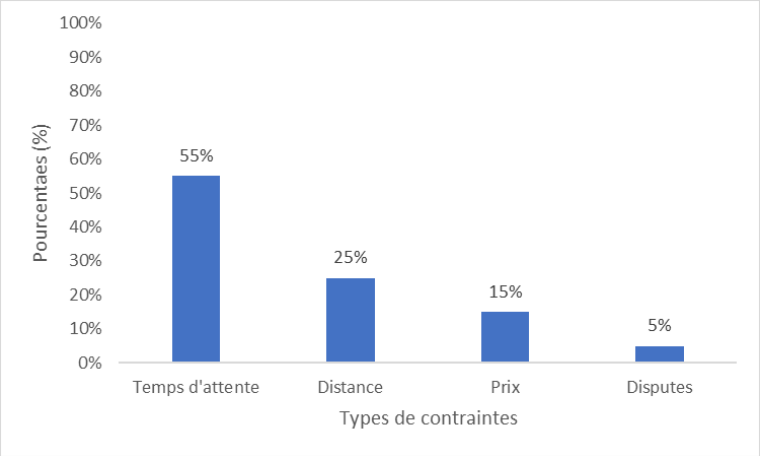


Figure 4. Répartition des principales contraintes liées à l'approvisionnement en eau potable à Tchaourou

Source : Travaux de terrain, janvier 2024

L'analyse des données d'enquête de terrain à Tchaourou révèle que l'accès à l'eau potable est entravé par des contraintes multidimensionnelles, avec une hiérarchie claire des défis. La prédominance du temps d'attente, représentant 55% des contraintes évoquées, est un obstacle majeur. Ce délai est aggravé par la lenteur d'exhaure des forages (estimée à 3 à 5 minutes pour 25 litres, contre 1 minute pour une borne-fontaine), ce qui est d'ailleurs évoqué par 7 ménages sur 10 comme une difficulté. Cette perte de temps considérable entraîne fatigue, particulièrement pour les femmes en charge de la corvée d'eau, et les empêche de se consacrer à d'autres activités essentielles, générant même des disputes aux points d'eau.

En second lieu, la distance aux points d'eau représente 25% des contraintes. Avec une distance moyenne de 400 mètres et seulement 17% des ménages situés à moins de 200 mètres de leur point d'approvisionnement (norme OMS), l'accessibilité n'est pas aisée. Cette contrainte est intensifiée en saison sèche, forçant les populations à parcourir de longues distances plusieurs fois par jour, ce qui limite la fréquence d'approvisionnement pour les ménages éloignés.

Sur le plan économique, les contraintes financières constituent 15% des difficultés, bien que 89% des ménages perçoivent la cherté de l'eau comme une contrainte forte. Le prix de l'eau

varie selon le type d'ouvrage (25 FCFA/25L à la borne-fontaine contre 10 FCFA/25L au forage/puits moderne) et la saison, impactant particulièrement les ménages à faible revenu et les poussant vers des sources potentiellement moins sûres. Enfin, les disputes, bien que ne représentant que 5% des contraintes, témoignent de tensions sociales liées à la pression sur la ressource. En outre, la qualité de l'eau est une préoccupation sanitaire majeure, la consommation d'eau non conforme étant directement corrélée à une incidence élevée de maladies d'origine hydrique (choléra, diarrhées), à support hydrique (bilharziose) et à vecteurs liés à l'eau (paludisme), soulignant un risque persistant. Collectivement, ces contraintes démontrent que la simple présence d'infrastructures ne garantit pas un accès facile, équitable et sûr à l'eau potable pour toutes les populations de Tchaourou.

Conclusion

Cette étude a révélé que l'accès à l'eau potable dans l'arrondissement de Tchaourou est un défi complexe, caractérisé par une dépendance marquée aux forages à pompe à motricité humaine (FPMH) et autres ouvrages améliorés (PM, PEA) tout au long de l'année. Malgré la présence de ces infrastructures, l'accès effectif est fortement entravé par des contraintes multidimensionnelles. Le temps d'attente prolongé aux points d'eau (55% des contraintes) est la difficulté majeure, aggravée par la lenteur d'exhaure et l'insuffisance des équipements. La distance (25% des contraintes), souvent supérieure à la norme OMS, impacte également la fréquence d'approvisionnement. Les coûts (15% des contraintes, mais perçus comme chers par 89% des ménages) et les disputes (5%) ajoutent des barrières économiques et sociales, tandis que la qualité de l'eau reste une préoccupation sanitaire directe, liée à une incidence élevée de maladies hydriques.

Ces résultats soulignent que la simple mise en place d'infrastructures ne garantit pas un accès universel, équitable et sûr à l'eau potable. Pour Tchaourou, il est impératif d'adopter une approche holistique qui, au-delà du renforcement quantitatif des ouvrages, cible l'optimisation de leur gestion et maintenance pour réduire les temps d'attente, une meilleure planification spatiale pour diminuer les distances, ainsi que des politiques de tarification plus adaptées aux capacités financières des ménages. Une attention particulière à la qualité de l'eau et à la sensibilisation aux risques sanitaires est également cruciale pour assurer un impact durable sur la santé et les conditions de vie des populations.

Bibliographie

Fangnon B., Babadjide C.L., Dossou P.J., Houssou F., 2016, Contraintes liées à l'approvisionnement en eau dans les centres de santé de l'arrondissement d'Akpro-Missérété au Bénin, *in Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n°**2**, pp.119-129

INStaD, 2013, *Institut National de la statistique et de la démographie (RGPH 4)*. Résultats définitifs, 33 p.

Koumassi H., 2009, *Problématique de l'eau dans la commune de Savalou : cas de l'arrondissement de Logozohè*. Mémoire de maîtrise en Géographie, DGAT / FLASH / UAC, 87 p.

Mairie Tchaourou 2024, *Plan de Développement Communal, 4e génération de la commune de Tchaourou*, rapport version finale, 241 pages

Voitan L. E. L, 2024, *Problématique d'accès à l'eau potable à Tchaourou*, Mémoire de maîtrise en Géographie, DGAT / FASHS / UAC, 47 pages

Zodékon R. A. et Odoulami L., 2024, Problématique d'accès a l'eau potable dans l'arrondissement d'Avakpa (Commune d'Allada) au Bénin, *in revue ACAREF*, Vol. **3** n° 8, pp.184-201.

EVALUATION DE L'EFFET DE LA VARIABILITE PLUVIO-THERMIQUE ET HYDROLOGIQUE SUR LA DISPONIBILITE DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA KARA AU NORD TOGO

Assehame Sabine ANOUKOUM[1], Essoyomèwè AKODABI[2], Atina Pyalo BADAMELI[3], Tatongueba SOUSSOU[4], Tchaa BOUKPESSI[5], Ibrouraïma YABI[6]

Université de Lomé, +22892676003, sabineanoukoum1@gmail.com

Université de Lomé, +22893221291, akodabiesso@gmail.com

Résumé : *Les ressources en eau superficielle, moteur de plusieurs activités socioéconomiques sont soumises à plusieurs types de pressions dont les aléas climatiques. La disponibilité de ces ressources est fortement influencée par les variations climatiques et hydrologiques. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact de cette variation sur la disponibilité des ressources en eau de surface du bassin de la Kara. A l'issu des traitements, deux phases évolutives globales sont identifiées dans la série de données annuelles. Une première phase caractérisée par des pluies excédentaires et la seconde phase marquée par un déficit pluviométrique. Cette baisse pluviométrique observée a induit une baisse des écoulements superficiels et par conséquent la disponibilité des ressources en eau de surface dans le bassin de la Kara.*

Mots clés : *ressource en eau surface, disponibilité, variabilité climatique, bassin versant de la Kara*

Abstract: ***Assessment of Pluviothermal and Hydrological Variability on the Availability of Surface Water Resources in the Kara River Basin, Northern Togo.*** *Surface water resources drive several socio-economic activities. However, they are subject to pressures and climatic hazards. The availability of these resources is strongly influenced by climatic and hydrological variations. The objective of this study is to assess the impact of these variations on the availability of surface water resources in the Kara basin. Following the analysis, two main evolutionary phases were identified in the annual data series. The first phase is characterized by excess rainfall, while the second is marked by a rainfall deficit. This observed decrease in rainfall has led to a reduction in surface runoff and, consequently, in the availability of surface water resources in the Kara basin.*

Keywords: *surface water resources, availability, climate variability, Kara River Basin*

Introduction

L'observation des modifications hydro-climatiques est sans équivoque. En Afrique ce changement est observé depuis les années 1970 et s'est traduit par divers évènements extrêmes dont, les inondations, les sècheresses et les vagues de chaleur qui ont entrainé une pénurie des ressources en eau superficielle. Suite à ce constat, des chercheurs d'Afrique de l'ouest tels que, HOUEDAKOR K. Z., (2010, p. 10-25), se sont investis pour mettre en évidence ce phénomène. Ces travaux de recherche ont montré l'évolution du climat en général et son impact sur les ressources en eau, l'environnement et les écosystèmes en particulier.

Il a trouvé que les changements hydro-climatiques ont des impacts divers sur les ressources en eau de surface et par ricochet les activités socio-économiques dont, l'agriculture, l'élevage, la pêche, le commerce, le transport et l'industrie. Les évènements hydro-climatiques contribuent à paralyser les économies des pays de la région déjà fragilisées par la vulnérabilité de leurs modèles informels et la population sans cesse croissante. D'après les experts du GIEC (2008, p. 35-89), les évènements climatiques extrêmes devraient probablement devenir plus fréquents avec le phénomène du réchauffement climatique. Cette situation aggravera davantage les impacts négatifs des évènements climatiques extrêmes sur les systèmes de production.

Le Togo à l'instar des autres pays de la sous-région, subit de plein fouet les conséquences de l'impact de la variabilité hydro-climatique. Ce phénomène est étudié au Togo par, ADJOUSSI P., (2000, p. 1-120), (AMOUSSOU E., 2010 p. 5 ; HOUEDAKOR K. Z., 2010, p. 12-25), ISSAOU L., (2014, p. 1-264).

Le sous bassin de la Kara situé au nord Togo, enregistre aussi les évènements extrêmes liés à la dynamique hydro-climatique entrainant la fragilisation des usages de la ressource en eau de surface. D'où l'objectif de cette étude qui est d'évaluer l'impact de la variabilité pluvio-thermique et hydrologique au pas de temps saisonnier et annuel sur la disponibilité des ressources en eau de surface du bassin de la Kara.

1. Matériel et méthode

1.1. Matériel d'étude

Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé les données issues de l'Agence Nationale de la Météorologie du Togo et du Ministère de l'eau et de l'hydraulique villageoise.

1.2. Méthode

L'analyse des séries hydro-climatiques et la détermination des ruptures est faite à partir de la formule de Lamb (1982) et de Nicholson (1988), incorporée dans le logiciel Khronostat en raison de leur efficacité et robustesse prouvée dans de nombreux travaux de recherche scientifique. La différenciation des périodes sèches et humides dans les séries de données climatiques et débimétriques sont mises en valeur à travers l'indice d'anomalie standardisée dont l'expression mathématique est : $I.A = Xi - X / б(x)$ Avec I.A = indice d'anomalie standardisé ; Xi = valeur moyenne de la variable considérée ; X = moyenne de la série ; б(x) = écart type de la série.

La détermination du bilan climatique potentiel a permis de mettre en évidence la péjoration hydro-climatique sur la disponibilité des ressources en eau. L'indice d'aridité a permis de déterminer la disponibilité de l'eau. Les méthodes susmentionnées ont été appliquées sur les données d'étude en utilisant les logiciels Excel et Khronostat. Les cartes illustrées dans le cadre de cette étude ont été conçues sur le logiciel Arc GIS.

2. Résultats

L'analyse des données des différentes stations indique à l'échelle du bassin de la Kara, des variabilités à des pas de temps journalier, saisonnier, interannuel et décennal.

2.1. Présentation du bassin versant de la Kara

Le bassin de la Kara est situé entre 0°34'48'' et 1°9'36'' de longitude est entre 9°27'0'' et 9°46'0'' de latitude nord. Il appartient au grand bassin de la volta (figure 1). La rivière Kara constitue un affluent de l'Oti. Il présente une diversité topographique et géologique. Ses affluents sont Kpaboh ; Kawa, Sala, Kpam, Wone, Niantin situés en rive gauche et Kpélou, Sossoa, Kozah, Massabo, Tarera, Nangbao, Mabo, Ganka, Koura, Kpeli, Kpindi localisés en rive droite drainent un ensemble de terrain variable, orienté d'est vers l'ouest.

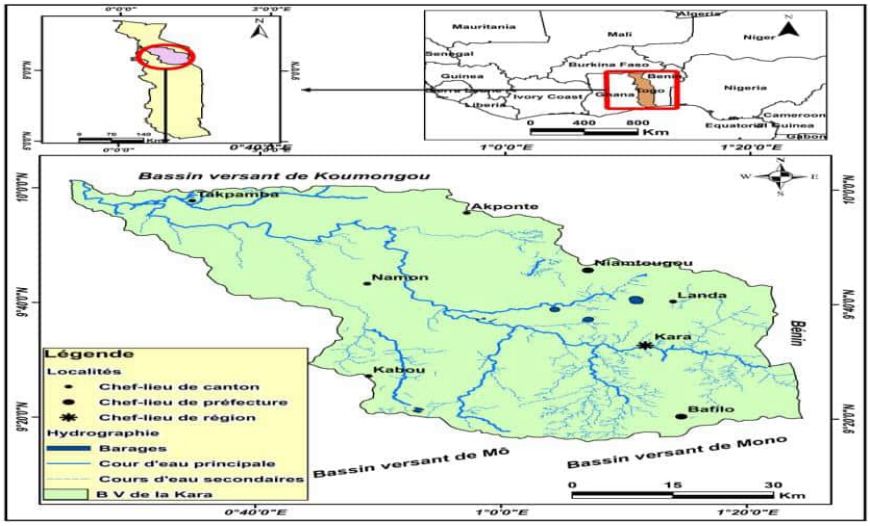


Figure 1 : Situation et réseau hydrographique du bassin versant de la Kara adaptée à partir des Fonds de carte topographique des régions de la Kara et des Savanes

2.2. Evolution pluvio-thermique saisonnière

L'analyse de la figure 2 montre la variation de la température et de la pluviométrie moyenne mensuelle. La variation mensuelle de la température se situe entre 30,65°C et 25,52°C pour la station de Kara et entre 31,46°C et 25,35°C pour celle de Niamtougou. Le maxi de la température moyenne est donc obtenu au mois de mars tandis que la valeur minimale s'observe au mois d'août.

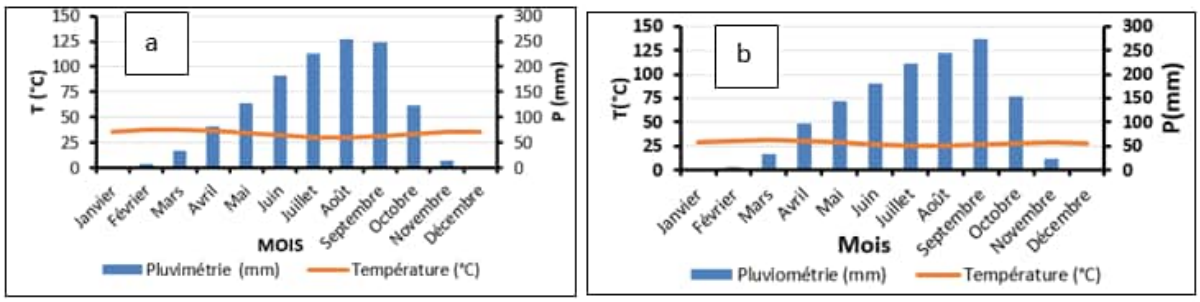


Figure 2 : Evolution mensuelle de la pluviométrie et de la température à Kara (a) et à Niamtougou (b)

La pluviométrie moyenne mensuelle quant à elle varie d'un mois à l'autre. Elle est abondante aux mois de juillet août et septembre dans les deux stations et atteint son maximum au mois de septembre (274 mm) à Niamtougou tandis que ce maximum est atteint au mois d'août (254 mm) à la station de Kara. Les mois les moins pluvieux sont respectivement novembre, décembre, janvier, février et mars correspondant à la période sèche donc synonyme d'indisponibilité de l'eau de surface dans le bassin versant. La variation pluvio-thermique mensuelle rythme la disponibilité des ressources en eau de surface en fonction des saisons.

2.3. Evolution interannuelle de la pluviométrie dans le bassin de la Kara

L'évolution des tendances pluviométriques annuelles est représentée par la figure 3 Les précipitations moyennes annuelles ont varié dans le temps et dans l'espace du bassin de la Kara.

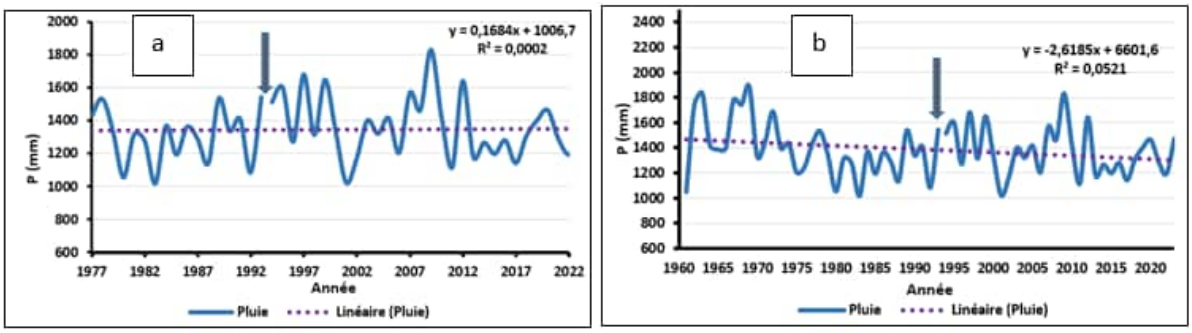


Figure 3 : Tendance et rupture dans les séries pluviométriques Kara (a) et Niamtougou (b)

L'analyse pluriannuelle des chroniques pluviométriques de Kara (1977-2023) et Niamtougou (1961-2023) nous a permis de déterminer trois phases d'évolution. Ces phases sont classées en trois périodes dont la première est caractérisée par des années excédentaires suivis des années normales et enfin la troisième phase caractérisée par des valeurs déficitaires. Les ruptures sont intervenues en 1978 à la station de Kara et en 1993 à Niamtougou.

2.4. Variabilité hydrologique du bassin de la Kara

Le régime hydrologique d'un cours d'eau se détermine à travers les variations de son débit d'écoulement qui est fortement influencé par le régime pluviométrique. L'observation de la figure 4 fait ressortir que l'écoulement dans le bassin de la Kara est permanant au cours des mois de juin à octobre. L'écoulement superficiel étant fortement lié à la pluviométrie, les mois d'écoulement abondants correspondent aux mois qui enregistrent une pluviométrie élevée.

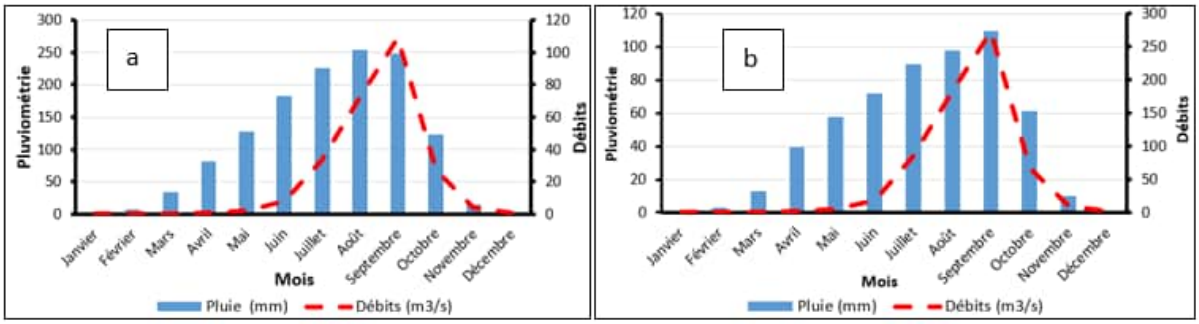


Figure 4 : Relation pluie-débits mensuels aux stations de Kara (a) et Niamtougou (b)

Cependant, le mois le plus pluvieux ne correspond pas forcement au mois qui enregistre les débits maximaux du fait que l'écoulement du mois en cours est souvent compensé par la pluviométrie du mois précédent. Cette situation s'observe à la station de Kara où le mois le plus pluvieux correspond à août tandis que septembre enregistre les débits maximaux de l'année. D'après l'analyse de la même figure le débit maximal d'écoulement est toujours enregistré au cours du mois de septembre au niveau des deux stations. L'ecoulement est prequ'inexistant de décembre à avril avec un assèchement complet du lit de la riviere par endroit. Le mois de mai caractérisé par un retour lent des eaux de surface sert de transition enttre la période d'écoulement abondante et celle caracterisé par l'absence de pluie et donc d'ecoulement.

L'analyse des débits moyens annuels révèle une tendance à la baisse des écoulements. L'application du test de Pettitt à mis en évidence une rupture en 1974 (figure 5) dans la série des débits (1954 -2022). De part et d'autre de la rupture l'écoulement est excédentaire de 1954 à 1974 alors qu'il est déficitaire entre 1974 et 2022.

Les irrégularités saisonnières et annuelles de la pluviométrie dans la zone d'étude correspondent également au régime hydrologique qui varie d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre. Cette variabilité hydro-climatique relevée ci-dessus n'est pas sans conséquences sur

la disponibilité des ressources en eau de surface. La variabilité des paramètres hydro-climatiques impactent les écoulements de surface et les recharges souterraines et par conséquent, la disponibilité des ressources en eau de surface.

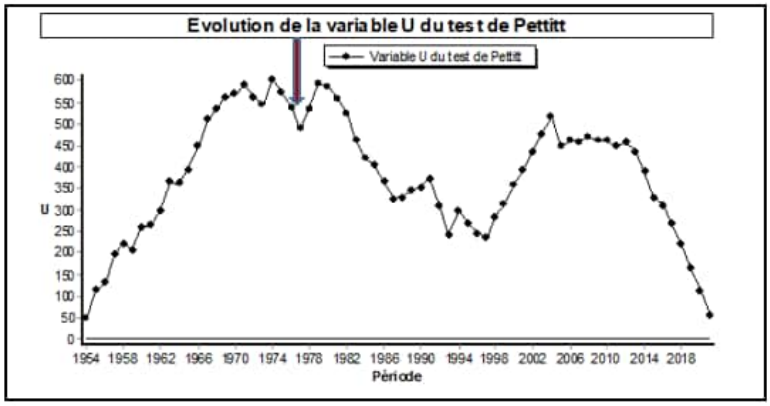


Figure 5 : Tendance et rupture débimétrique interannuelle

Conclusion

Les résultats obtenus des analyses des paramètres climatiques et hydrologiques ont permis de démontrer la coïncidence entre la variabilité de ces paramètres et la disponibilité des ressources en eau de surface dans le bassin versant de la Kara. La diminution de la pluviosité associée à l'augmentation des températures et à la sècheresse entraine inévitablement une pénurie en eau de surface notamment en saison déficitaire en pluviométrie et écoulement. Cette période déficitaire se situe généralement de décembre à avril dans la zone d'étude. Les conséquences négatives de la variabilité hydro-climatique tels que l'assèchement rapide des rivières, le démarrage tardif de la saison pluvieuse impliquent la modification du calendrier agricole ainsi que les activités des populations du bassin. Les prévisions sont toutes unanimes sur l'aggravation des évènements extrêmes au cours des décennies à venir. Pour faire face à ces différents changements hydro-climatiques, une étude approfondie de la gestion des ressources en eau et la maitrise de l'eau dans le bassin versant doit être envisagée.

Bibliographie

HOUEDAKOR K. Z., 2010 : *Les Ressources en eau : étude géographique dans l'espace Volta-Mono*, Université de Lomé, 380 pages.

ISSAOU L., 2014 : *Risques climatiques dans le sud-Togo : manifestations, impacts et stratégies d'adaptation*, Université de Lomé, 264 pages.

ADJOUSSI P., 2000 *: Changement climatique global : Evaluation de l'évolution des paramètres climatiques au Togo*, Université de Lomé, 126 pages.

AMOUSSOU E., 2010 *: Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest),* Université de Bourgogne, 315 pages.

MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE POUR L'IRRIGATION DES CULTURES DANS LE CONTEXTE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE DE ZE AU SUD DU BENIN

Rock AVALIGBE*, Kouété Hervé KOUDJEGA., Expédit Wilfrid VISSIN

EDP/ECD (UAC)/ FASHS (UAC)/ Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Ecosystème, Eau et Développement (LACEED)/ Université d'Abomey-Calavi, 01BP 2009 Cotonou BENIN rockyavaligbe@gmail.com , koudjegaherve@gmail.com, exlaure@gmail.com

Résumé : *Au Bénin, les changements climatiques bouleversent et rendent inopérationnels le calendrier agricole. L'aménagement hydro-agricole fait aujourd'hui partie des stratégies d'adaptation utilisée par les populations. Cette étude s'est appuyé sur les données piézométriques, les statistiques climatologiques de la période 1985 à 2024 et l'analyse des tendances par les tests de corrélation sur rang de Kendall.Les résultats ont révélé que la variabilité interannuelle montre la tendance pluviométrique est à la baisse dans la commune de Zè de 35 % à 1 %. Face à cette situation, les paysans ont développé des stratégies d'adaptation. Il s'agit des techniques d'irrigation par 72 % des enquêtes avec usage de l'eau souterraine où la nappe est peu profonde et avec une forte perméabilité.*

Mots clés : Mobilisation, eau souterraine, changement climatique, Zè

Abstract: *In Benin, climate change is disrupting the agricultural calendar and rendering it inoperable. Hydro-agricultural development is now one of the adaptation strategies used by the population. This study was based on piezometric data, climatological statistics from 1985 to 2024, and trend analysis using Kendall's rank correlation tests.The results revealed that interannual variability shows a downward trend in rainfall in the commune of Zè, from 35% to 1%. Faced with this situation, farmers have developed adaptation strategies. These include irrigation techniques, with 72% of the surveys using groundwater where the water table is shallow and highly permeable.*

Keywords: *Mobilization, groundwater, climate change, Zè*

Introduction

Le système climatique ouest africain dans lequel s'intègre le Bénin connaît depuis plus de trois décennies des perturbations sans précédent, qui se manifestent par une modification du régime pluviométrique (Codjo *et al*, 2016). Au Bénin, l'accroissement des phénomènes climatiques extrêmes telles que les inondations et sécheresses ont des conséquences remarquables sur l'agriculture et se traduit par la destruction des cultures, la perturbation des cycles culturaux, la baisse des rendements et le bouleversement du calendrier agricole classique (Saré, 2018). Face à cette situation, les populations locales ont développé plusieurs stratégies d'adaptation, notamment l'adoption de nouvelles pratiques culturales (Schneider *et al*, 2015). Au Bénin, la plupart des producteurs pratiquent l'activité agricole le long des cours d'eau ou autour des retenues d'eau (Dodo *et al*, 2019).

Cependant les communautés locales qui ne sont pas à proximité des cours d'eau sont obligée d'utilisé d'autre techniques de mobilisation des ressources en eau pour l'agriculture tel que des technique d'irrigation axé sur ressources en eau souterraine.

Dans la Commune de Zè au Bénin, l'eau devient rare pour la production agricole en saison sèche et une mauvaise répartition des pluies en saison pluvieuse avec de nombreuses répercussions sur la population qui ne bénéficie pas d'un réseau hydrographique dense. Face à ces situations, les populations de la commune de Zè prennent des initiatives, sur la base de leurs connaissances, de leur savoir-faire pour l'aménagement hydro-agricole au profit de l'agriculture dans le contexte des changements climatiques.

1-Présentation du milieu d'étude

La commune de Zè, est l'une des 08 subdivisions administratives du département de l'Atlantique, comprise entre 6°32 et 6°87 de latitude Nord d'une part et entre 2°13 et 2° 26 de longitude Est d'autre part. Avec une superficie de 653km², Zè est limité au Nord par les communes de Zogbodomey (Zou) et Toffo. Au sud par les communes d'Abomey-Calavi et de Tori-Bossito ; à l'Est par les communes d'Adjohoun, de Bonou (Ouémé) et à l'Ouest par la commune d'Allada (Mairie de Zè, 2006).

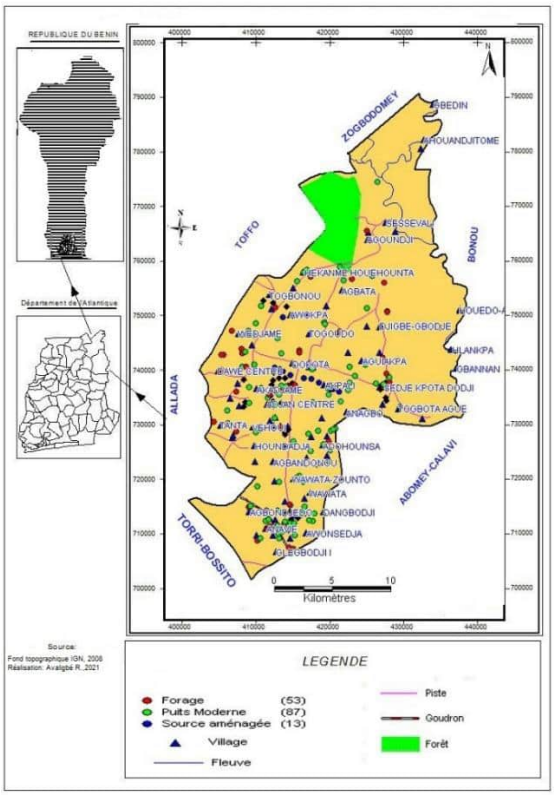


Figure 1. Situation géographique de la commune de Zè

La commune de zè, montre une inégale répartition sur le territoire des points d'eau. (53) Forages, (87) Puits modernes et (13) Sources aménagées. Ceci montre que les ressources en eau de la commune sont inégalement réparties dans les arrondissements.

2. Donnée et Méthode

2.1. Données

Ces données concernent la pluie et les données piézométriques d'Abomey-Calavi et la station synoptique obtenues au LACEEDE, et à la météo Bénin. Les données de pluie couvrent la période 1985 à 2024 et les données piézométriques couvrent l'année 2024 Les statistiques agricoles portent sur les superficies emblavées en hectare, la production et les rendements des campagnes agricoles sur la période de 2024, tirées des compendiums des statistiques agricoles du MAEP.

2.2. Méthodes de traitement des données

Les différentes données collectées ont fait l'objet d'un traitement selon leur nature et le type d'analyse à faire. Après une synthèse des données issues du dépouillement manuel, les informations qualitatives et quantitatives ont fait l'objet d'un traitement informatique pour dégager les tendances à l'aide des tests statistiques. Les logiciels Excel et Word 2007 ont été utilisés pour les différents calculs statistiques, la construction des graphes et tableaux d'une part

et la saisie du texte d'autre part. Les cartes de situation et d'occupation de sol ont été réalisées à l'aide du logiciel Arc View.

2.2.1 Méthodes diagnostiques du climat

- **Moyenne arithmétique**

La moyenne arithmétique est utilisée pour étudier les régimes pluviométriques et hydrologiques. Elle s'exprime par la formule suivante :

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

La moyenne $\overline{X}$ a permis de caractériser l'état hydro-climatique moyen et de mettre au point quelques indices de dispersion.

2.2.2 Approche agro climatologique

La **corrélation** a permis d'avoir une idée sur le degré de dépendance entre l'eau de la pluie et les rendements des différentes spéculations. La formule est :

$$r = \frac{\frac{1}{N}\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma(x).\sigma(y)}$$

En effet, après l'évaluation des besoins en eau par stade de développement à l'échelle du cycle végétatif, le déficit d'eau susceptible de nuire aux cultures a été évalué. C'est l'une des méthodes qui permettent d'apprécier l'influence de la pluviométrie sur les productions agricoles dans le contexte d'une agriculture pluviale.

3- Résultat et discussion

3.1 Infiltration et fluctuation piézométrique

Les allures de ces différentes courbes montrent que la piézométrie de la nappe est étroitement liée au régime des pluies (figure 2). Ainsi, lorsque les pluies sont régulières et abondantes, la nappe s'alimente en eau, ce qui entraîne une augmentation du niveau de l'eau par rapport au sol. En outre, il ressort aussi que le niveau de la nappe est fonction du positionnement des piézomètres.

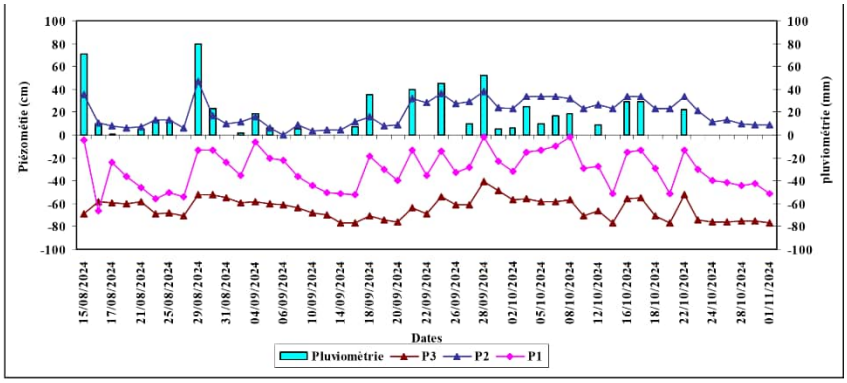


Figure 2. Fluctuation de la nappe

Particulièrement selon la figure 2 on note une recharge presque totale de la nappe durant toute la période. La hauteur moyenne d'eau mesurée par rapport au sol est de – 2cm avec 0,0cm et -3 cm comme valeurs extrêmes. On note une recharge presque totale de la nappe durant toute la période. Cela est dû au fait que la tendance pluviométrique est à la baisse dans la commune de Zè de 35 % à 1 %.

3.2 Corrélations entre les rendements de quelques cultures maraîchères et la pluviométrie

Les coefficients de corrélation linéaire de Bravais-Pearson et test de corrélation de Kendall ont été également déterminés entre la quantité d'eau de précipité et les rendements des cultures maraîchères. Ceci a permis d'évaluer leur dépendance et leur signification (tableau 1).

Tableau 1 : Corrélations entre pluviométries et rendements de quelques cultures maraîchères

Cultures	Corrélation pluviométries	Test de significativité de Kendall
Oignon	-0,219	P – value = 0,282 ; α/2 = 0,025
Piment	-0,124	P – value = 0,559 ; α/2 = 0,025
Gombo	-0,162	P – value = 0,435; α/2= 0,025

Source : Traitement des données agroclimatologiques ASECNA-MAEP, mars 2024

L'observation du tableau 1 révèle que les corrélations entre l'eau et les rendements de l'oignon, du piment et du gombo sont inférieures à 0,5. Au seuil de signification $\alpha = 0,05$; on ne peut donc pas rejeter l'hypothèse nulle d'absence de corrélations. Autrement dit, les corrélations existent, mais sont faibles. Ceci est justifié par le test de Kendall où p-value est supérieur à α/2 (=0,025) pour ces cultures ; ces corrélations ne sont donc pas significatives. Les rendements des cultures maraîchères étudiées ne dépendent donc pas seulement des eaux issues de la pluie, mais aussi les eaux issues des nappes aquifères. L'analyse des corrélations entre les eaux issues de la pluie et les rendements du gombo, de l'oignon et du piment permet d'apprécier la vulnérabilité des cultures maraîchères aux risques climatiques. Face à cette situation, les paysans ont développé des stratégies d'adaptation. Il s'agit des techniques d'irrigation par 72 % des enquêtes avec usage de l'eau souterraine où la nappe est peu profonde et avec une forte perméabilité.

3-3 Techniques de mobilisation des ressources en eau

Les techniques de mobilisation des ressources en eau à des fins agricoles adoptées par les agriculteurs de la commune de zè sont : le forage et le système de pompage. Le forage étant une technique pour creuser un trou dans le sol, est utilisés par environ 89% des producteurs de la commune de zè. Ce sont des puits à faibles diamètres raccordés à une motopompe pour la production maraichère.

Les châteaux qui servent à contenir l'eau du forage sont en béton et en matériaux précaires. Ils servent à apporter l'eau aux cultures au moyen des tuyaux, des billes et des sillons. Les forages sont pratiqués par la majorité des paysans qui exploitent une superficie de plus d'un hectare. Cette technique est utilisée par les pépiniéristes et les maraîchers qui ne sont pas proches des cours d'eau et rivières afin de faciliter la disponibilité de l'eau dans les champs. Ce système facilite l'approvisionnement en eau et l'arrosage des cultures, mais couteux pour les paysans. Car il nécessite l'approvisionnement en carburant pour le fonctionnement de la motopompe et une motopompe de relai en cas de panne. La planche 1 présente le forage et les châteaux qui servent à contenir l'eau du forage.



Planche 1. Système de mobilisation des eaux souterraines dans la commune de Zè

Prise de vue : Avaligbé, 2023

La planche 1 présente le forage que les agriculteurs utilisent pour la production agricole et les châteaux d'eau pour stocker l'eau du forage dans les champs dans la commune de Zè. Ceci montre aussi une motopompe équipée de tuyaux installée dans un champ pour exploiter l'eau du sous-sol au profit des cultures. Ce qui facilite la disponibilité de l'eau dans les champs.

Discussion :

L'investigation sur le terrain a permis de recenser les techniques de mobilisation des ressources en eau à des fins agricoles. Les résultats similaires aux nôtres ont été rapportés par plusieurs études ou leurs auteurs (Fanou, 2016) et (Gbenou et al 2017) révèlent la disponibilité de l'eau souterraine comme ressources eau à des fins agricoles.

Cette étude a permis de dégager les techniques de mobilisation des ressources en eau à des fins agricoles adoptées par les populations. La technique la plus utilisée par les populations est le forage. Le pourcentage des agriculteurs de Zakpota (67 %) par (Fanou, 2016) qui adoptent cette technique est inférieure au notre qui est de (89%). Ceci se justifie par le niveau de la nappe phréatique. Par conséquent le cout élevé de la technique. En effet, selon Codjo (2017), les systèmes d'irrigation par pompage peuvent être installés dans la plaine inondable. Or, les résultats du présent travail ont montré que les inondations rendraient ces systèmes d'irrigation non opérationnels, en bouchant les tuyaux de refoulement par la boue et autres matières solides.

Par ailleurs (Fanou, 2016) montre que pour apporter l'eau à la culture, il est nécessaire d'utiliser les systèmes d'irrigations comme : l'arrosoir, les tuyaux, et les petits plastiques, tandis que nous trouvons comme systèmes d'irrigation : l'arrosoir, les raccords, les petits plastiques, la bande perforée et le tourniquet.

Conclusion

Face aux effets néfastes des changements climatiques sur la production agricole, plusieurs stratégies d'adaptation sont mises en œuvre pour accroître la production agricole par les paysans de la commune de Zè. Il s'agit de l'exploitation des puits et forage disponibles dans le secteur d'étude au profit des micro-jardinages car elle permet aux exploitants familiaux d'obtenir une augmentation des productions vivrières. Les aménagements hydro-agricoles se présentent donc comme les mesures de renforcement des stratégies d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques, surtout la commune de Zè qui dispose des caractéristiques aussi bien physiques qu'humaines favorables à tous types d'aménagements hydro-agricoles. Néanmoins, l'acuité et la redondance des formes de vulnérabilité n'ont pas fini de montrer les limites de résilience de ces exploitations. Dans une perspective de proposer de meilleures stratégies d'adaptation aux changements

climatiques, les études futures porteront sur les différents d'aménagement hydro-agricole pour une bonne rentabilité de l'agriculture familiale.

Bibliographie

Codjo Thierry (2017) : Aménagement hydro-agricole pour la réduction de la vulnérabilité et l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans la Basse vallée de l'Ouémé. Thèse de doctorat unique, UAC, 312 p.

Codjo Thierry, Akindélé Akibou, Ogouwalé Euloge, Agbossou Euloge (2016) : Indicateurs pluvio-thermométriques des changements climatiques dans la basse vallée de l'Ouémé. In Publication Annales FLASH, Vol 1, numéro 22, pp 276-291.

Dodo Mahouna Citora, Hounkanrin Barnabé, Lanokou Cheto Mathieu, Ogouwale Euloge (2019) : Vulnérabilité de l'agriculture familiale aux risques climatiques dans la dépression de Tchi au Sud-Bénin ; 17p.

Fanou I. (2016) : Mobilisation des ressources en eau à des fins agricoles dans la commune de Za-kpota. Mémoire de maitrise, UAC/FLASH, 9p.

Gbénou Pascal, Gervais Atchade, Vissin Expédit Wilfrid, Chabi Biaou Ibidun Hervé, Lavinon Romaric (2017) : Cultures de contre-saison dans la commune d'adjohoun au Bénin : entre atouts et contraintes. Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes, Numéro 2 juin 2017, ISSN 2521-2125. 13 p.

Saré Bédou. (2018) : influences des variabilites et changements climatiques sur les productions animales, vegetales et halieutiques dans la basse vallee de l'oueme au benin. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 359 p.

Schneider A. et Huyghe C., 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables.edition Quae, RD 10 78026 , France, Versailles Cedex, 515 p.

Zhang W., Martin Brandt M., Tong X., Tian Q.et Fensholt R., (2017) : Impacts of the seasonal distribution of rainfall on vegetation productivity across the Sahel, Biogeosciences Discuss. 27 p. https://doi.org/10.5194/bg-2017-331.

VULNERABILITE DE LA PRODUCTION D'EAU POTABLE A LA VARIABILITE CLIMATIQUE DANS LA ZONE DE SOCLE CRISTALIN DE NATITINGOU

Zaharandine BA-LADANI[1], Asai Akinni Gervais ATCHADE[2], Pierre OUASSA[3], Expédit Wilfried VISSIN[3]

[1] *Institut National de l'Eau, Bénin : INE/UAC, dinebalzaha1@gmail.com*

[2] *Université d'Abomey-Calavi (Bénin) : DGAT/FASHS/UAC, akanni12@gmail.com*

[3] *Laboratoire Pierre PAGNEY, Climats, Eaux, Écosystèmes et Développement (LACEEDE) 03 BP 1122 Cotonou (Bénin), ouaspeter@yahoo.fr*

Résumé *: Cette étude analyse la vulnérabilité de la production d'eau potable à la variabilité climatique dans la zone de socle de Natitingou (Nord-Ouest du Bénin). Les données climatiques, hydrologiques et celles liées à la production d'eau potable de 1971 à 2020 ont été mobilisées, ainsi qu'une enquête de terrain. L'analyse statistique (indices centrés réduits, test de Pettitt) révèle une rupture pluviométrique en 1993, divisant la période en deux sous-périodes : une phase sèche (1971-1993) et une phase humide (1994-2020). Malgré l'utilisation des eaux de surface, les débits montrent une tendance à la baisse. Ces dynamiques influencent négativement la production d'eau potable dans la commune. La présente étude met en évidence la nécessité de stratégies d'adaptation dans un contexte de variabilité climatique accrue.*

Mots clés : *Commune de Natitingou – zone de socle – Variabilité climatique — eau potable*

Abstract **Vulnerability of drinking water production to climate variability in the Natitingou crystalline basement zone.** *: This study analyzes the vulnerability of drinking water production to climate variability in the Natitingou basement area (Northwest Benin). Climatic, hydrological and drinking water production data from 1971 to 2020 were used, as well as a field survey. Statistical analysis (reduced centered indices, Pettitt test) reveals a rainfall break in 1993, dividing the period into two sub-periods: a dry phase (1971-1993) and a wet phase (1994-2020). Despite the use of surface water, flow rates show a downward trend. These dynamics negatively influence drinking water production in the municipality. This study highlights the need for adaptation strategies in a context of increased climate variability.*

Key words: *Commune of Natitingou – basement zone – Climate variability — drinking water*

Introduction

L'eau est une ressource vitale et irremplaçable, indispensable à la vie de tous les êtres vivants et au développement économique et social (E. Vissin, 2020). Pour ce fait, elle est la ressource la plus précieuse de la planète, et nous devons la gérer avec soin (P. Gleick, 2014). Cependant, les changements climatiques sont susceptibles de dégrader la disponibilité de cette ressource sur une longue période (GIEC, 2014). Cet état de chose est problématique pour certaines communes comme elle de Natitingou. En effet, cette commune est située dans la zone du socle cristallin où les nappes phréatiques sont généralement discontinues et de faible capacité **(**K. **Aïssi, et al.,** 2018). Ainsi, en zone de socle, faute de débits suffisants des forages dans certaines régions, 4 communes, dont Natitingou, sur les 69 communes couvertes par la Société Nationale des Eaux du Bénin, sont alimentées par les eaux de surface (SONEB, 2014). L'objectif de cette étude est d'analyser la vulnérabilité de la production d'eau potable aux fluctuations climatiques dans une zone où les eaux souterraines sont peu disponibles et où la ressource provient majoritairement des eaux de surface.

1. Méthodes

Situé au Nord-ouest du Bénin, la commune de Natitingou est au centre du département de l'Atacora et s'étend des parallèles 10°07 et 10°30 Latitude nord et aux méridiens 1°15 et 1°30 Longitude est. Les données utilisées dans cette étude sont à la fois quantitatives et qualitatives. Les données quantitatives proviennent principalement de la météo Bénin et de la SONEB de

Natitingou. Pour ce fait, plusieurs méthodes de traitements de données ont été adopté, parmi lesquels les écarts centrés réduits pour caractériser les anomalies pluviométriques, le bilan climatique pour voir le rythme des excédents ou des déficits en eau, la détection des ruptures au sein de la série pluviométrique pour comprendre les impacts des changements climatiques sur les ressources en eau et enfin la caractérisation de la sècheresse à l'échelle annuelle par la méthode de l'OMM.

2. Résultats

2.1. Processus de production de l'eau potable dans la commune de Natitingou

La production de l'eau potable pour l'approvisionnement en eau dans la commune de Natitingou est basée sur deux sources majeures : les eaux souterraines et celles de la surface. Cependant, dans cette étude on s'est trop intéressé sur la source d'eau de surface. Cette production se fait sur plusieurs étapes :

- ***Le captage et le dégrillage***

La photo 1 présente la rivière de Tiatico, la station de de captage de l'eau de surface pour la production de l'eau potable dans la commune de Natitingou.



Photo 1: Station de Captage et de dégrillage de l'eau de surface pour la production de l'eau potable.

Prise de vue : BA-LADANI, Août 2024

Cette photo révèle que la disponibilité en eau dans cette rivière est fortement dépendante des conditions climatiques. La production d'eau potable dépendante de la disponibilité de l'eau dans la rivière est donc également soumise aux conditions climatiques. Après ce processus de captage s'ensuit l'étape primaire qu'est le dégrillage (photo 2), qui permet de se débarrasser des débris présents dans l'eau brutes.



Photo 2 : Eau obtenue après le dégrillage dans la bâche de prise

***Prise de vue** : BA-LADANI, Août 2024*

Ce processus de dégrillage se fait avec principalement deux grilles, les grilles à grandes mailles et celles à mailles fines. Cette eau obtenue est drainée directement vers les bâches de de prises où elle est temporairement stockée avant de poursuivre les étapes suivantes du traitement pour la production d'eau potable. (photo 2)

Après cette de captage et dégrillage s'ensuit la phase de coagulation (photo 3).

- ***Coagulation***



Photo 3 : processus d'injection du sulfate d'aluminium et de la chaux éteinte

***Prise de vue** : BA-LADANI, Août 2024*

Cette étape consiste à injecter le sulfate d'aluminium et la chaux éteinte dans l'eau drainée après le dégrillage.

En effet, le sulfate d'aluminium réagit avec les matières en suspension pour former des flocs plus gros. Ainsi, leur agglomération favorise la formation des particules plus grosses et plus denses, à l'origine de la sédimentation. La chaux éteinte quant à elle, favorise l'ajustement du pH de l'eau, chose indispensable pour optimiser la formation des flocons. Cette phase est suivie de la Décantation.

- Décantation

A cette étape, l'eau clarifiée se sépare des flocs qui sont formés lors de la coagulation. Le poids du sédiment issu lors de la coagulation se dépose au fond du bassin suite à la gravité. À la suite de cette séparation, la phase de de la filtration vient.

- **Filtration**

A ce niveau, l'eau est contrainte à passer par des milieux poreux qui retiennent les particules les plus fines et désagréables pour l'organisme de l'homme et puis s'en suit la phase de la désinfection.

- **Désinfection**

C'est la phase ultime du processus de traitement de l'eau à l'obtention de l'eau potable. Son rôle est d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes (virus, bactéries et les parasites) pouvant être présent dans l'eau obtenue pour nuire et portée atteinte à la santé des consommateurs à travers l'utilisation de l'hypochlorite de calcium, qui libère du chlore actif quand il est dissous dans l'eau. Ce dernier attaque les parois des micro-organismes en les détruisant.

La dynamique climatique dans le milieu exerce une pression énorme sur la quantité et la **disponibilité de cette ressource et par ricochet entrave la production de l'eau potable.**

2.2. Impact de la dynamique climatique sur la production de l'eau potable dans la commune de Natitingou

La pluie est la première source qui favorise la disponibilité en eau dans un milieu. La figure 1 montre la variabilité interannuelle des précipitations dans la commune.

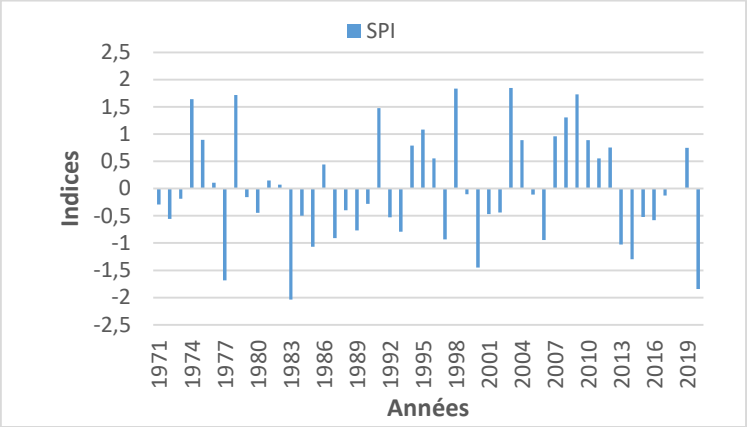


Figure 1 : évolution annuelle de la pluie

L'analyse de cette figure montre que sur la période de 1971-2020 dans la commune de Natitingou, la plupart des anomalies sont négatives traduisant ainsi les périodes déficitaires. On a donc plus d'années déficitaires en pluviométrie que des périodes humides. Cela induit une diminution de la disponibilité en eau brute, rendant plus difficile et irrégulière la production d'eau potable dans la commune

- Analyse de la rupture de stationnarité de la commune de Natitingou sur la période d'étude

La figure 2 montre le test de Pettitt appliqué aux séries pluviométriques annuelles (1971-2020).

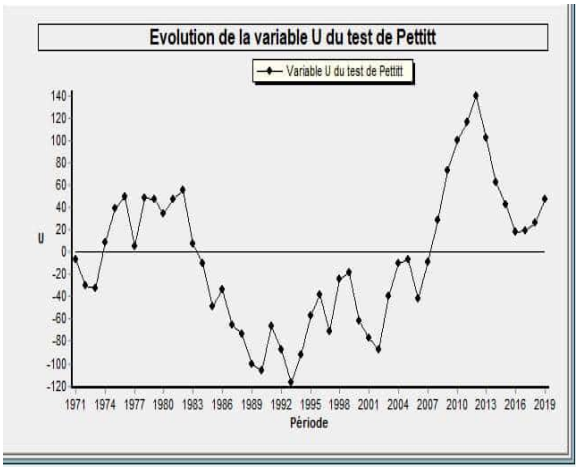


Figure 2: Analyse de la rupture de stationnarité pluviométrique dans la commune de Natitingou de 1971-2020

De l'analyse de la figure 2, il ressort une rupture de stationnarité est observée en 1993 avec un pourcentage significatif de 95 % selon le test de Petit. Cela permet donc de dégager deux sous-périodes. Une première de 1971-1993 correspondant à la période de récession pluviométrique et déficitaire en eau pour la production de l'eau potable et une deuxième de 1994-2020 correspondant à la période favorable à la production de l'eau.

➢ Analyse du bilan climatique de la commune de Natitingou

La figure 3 présente le régime saisonnier du bilan climatique (saisons sèches et humides) dans la commune sur les deux périodes. Elle met en évidence les mois de disponibilité en eau dans la commune de Natitingou.

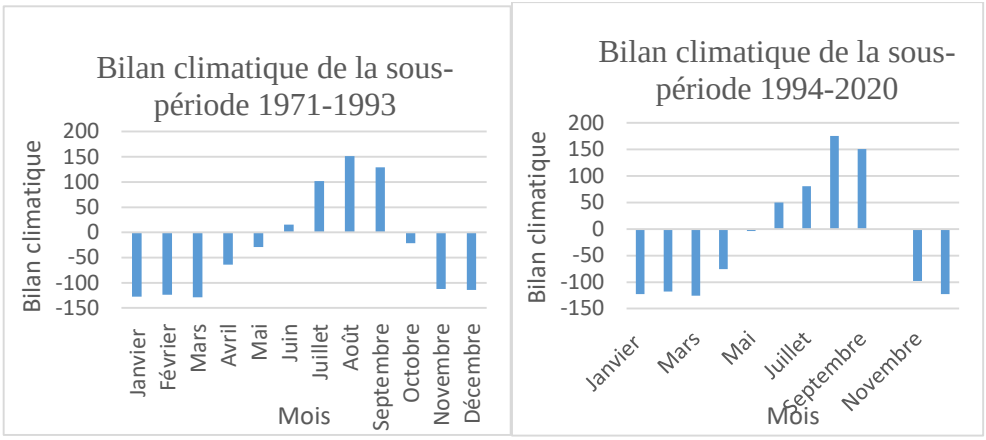


Figure 3 : Bilan climatique des deux sous-périodes obtenues

L'analyse de la figure 3 informe que sur les douze mois de l'année, seuls quatre mois ont une disponibilité excédentaire en eau sur les deux sous-périodes obtenues. Il s'agit des mois juin, juillet, août et septembre. Cependant, les autres sont marqués par une faible quantité de disponibilité en eau où l'évapotranspiration devient importante. Cela entraine l'amenuisement des cours d'eaux et surtout le tarissement des marigots et rivières impactant ainsi négativement la production d'eau potable en réduisant la quantité d'eau de surface disponible pour le traitement.

➢ Caractérisation de la sècheresse hydrologique dans la commune de Natitingou

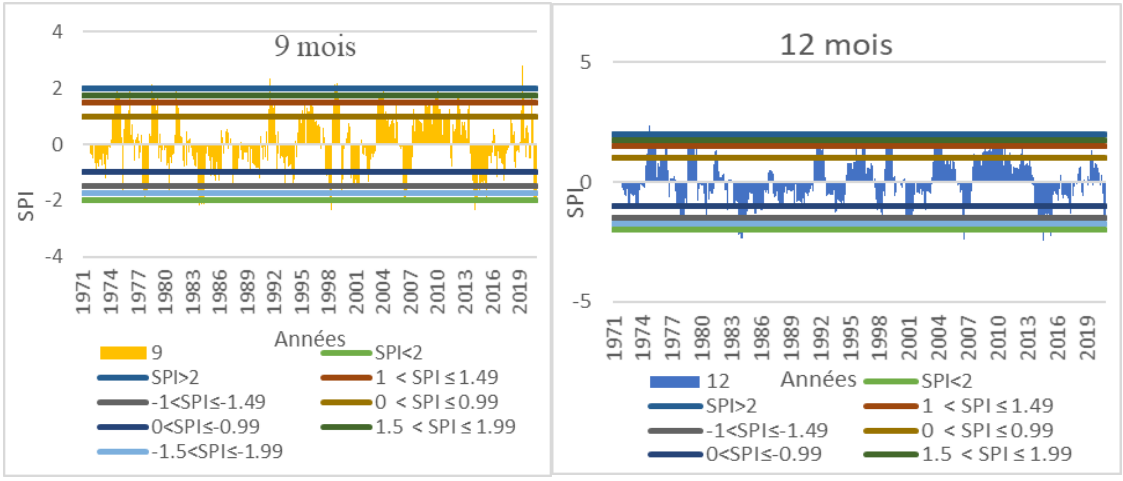


Figure 4 : Indices de sècheresse de 06 à 12 mois sur la période de 1971-2020 dans la commune de Natitingou.

L'analyse de la figure 4 informe que la commune de Natitingou a connu une succession de périodes sèches et humides sur la période de 1971-2020. Ainsi sur une échelle de 09 à 12 mois, la commune de Natitingou a connu plusieurs périodes de sécheresse majeures dont les valeurs -2,35 en 1998 et -2,35 en 2014 pour une échelle de 09 mois et les valeurs -2,39 en 2006 et -2,47 en 2014 pour une échelle de 12 mois avec une probabilité d'occurrence de 2 sur 100 ans et 1 fois tous les 50 ans. Bien que souvent rare, les conséquences de ces sécheresses majeures entravent significativement la production de l'eau potable à travers l'évaporation significative et la baisse des régimes hydrologiques.

➢ Variation interannuelle du débit de la rivière de Tiatico dans la commune de Natitingou

La figure 17 présente l'évolution interannuelle des débits de la rivière de Tiatico dans la commune de Natitingou.

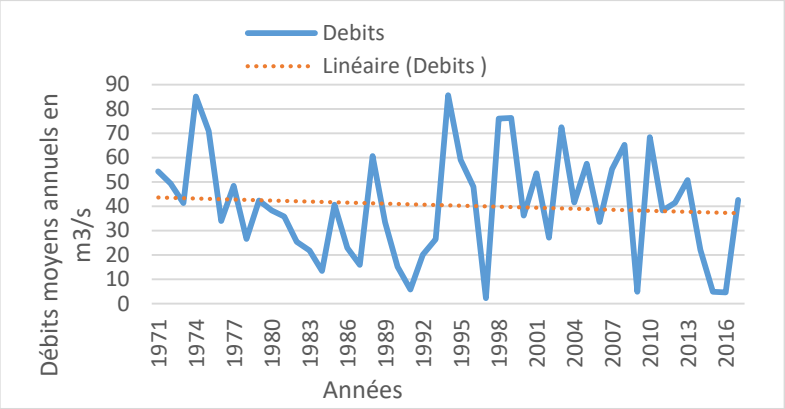


Figure 6 : Evolution interannuelle des débits de la rivière de Tiatico dans la commune de Natitingou

L'analyse de la figure 6 révèle que sur l'ensemble de la rivière, les débits des cours d'eau ont une tendance à la baisse. Cela est due à un ensemble de facteurs parmi lesquels, l'augmentation des périodes déficitaires en termes de pluviométrie, une évapotranspiration importante, et une recrudescence des périodes de sécheresse dans la commune ; la production de l'eau potable connaitra aussi une baisse.

Conclusion

Cette étude a mis en évidence une forte vulnérabilité de la production d'eau potable à la variabilité climatique dans la commune de Natitingou, caractérisée par une réduction significative des précipitations et des débits de surface. Ces constats appellent à la mise en œuvre de stratégies de diversification des sources d'approvisionnement et à une planification hydrique plus résiliente face aux aléas climatiques.

Bibliographie

GIEC, 2014 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution du groupe de travail II au cinquième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge/New York, Royaume-Uni/USA, Cambridge University Press.

Gleick, P. H. (2014). Water in crisis: Facing the world's water challenges. Weather, climate and society 6 (3) 331-340, 2014.

Vissin E. W. (2020). L'eau et les changements climatiques en Afrique de l'Ouest : défis et perspectives. Revue Internationale Sciences et Développement Durable, 7(3), 527-542. Page 530.

SONEB (Société Nationale des Eaux du Bénin), 2014. Les sources d'eau alimentant les stations de pompage et de traitement de la SONEB, 2014, [en ligne] https://www.soneb.bj/soneb15/pg-captage (consulté le 15 février 2019).

Aïssi, K., Houssou, M. A., & Adjibade, M. A. (2018). Caractérisation hydrochimique des eaux souterraines des aquifères de socle de la commune de Natitingou au Bénin. *European Scientific Journal*, 14(10), 802-81 4.

ACTUALISATION DE LA CARTOGRAPHIE BIOCLIMATIQUE DE MADAGASCAR GRÂCE AUX DONNÉES BRIO : SITUATION OBSERVÉE ET PROJECTIONS FUTURES

Sylvain BIGOT[1], Samuel RAZANAKA [2], Marie-Dominique LEROUX [3], Stephason KOTOMANGAZAFY [4], Sandra ROME [1], Pierre BRASSEUR [1]

[1] *Université Grenoble Alpes - Institut des Géosciences de l'Environnement (IGE, UGA-CNRS-INRAE-IRD-Grenoble INP), CS 40 700 - 38058 Grenoble cedex 9, France ;* sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr, sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr, pierre.brasseur@univ-grenoble-alpes.fr

[2] *Centre National de Recherches sur l'Environnement (CNRE), 39, rue Rasamimanana Fiadanana, BP 1739, Antananarivo 101, Madagascar ;* sj.razanaka@gmail.com

[3] *Météo France, Division Etudes et Climatologie, Direction Interrégionale pour l'Océan Indien, 50 bld du Chaudron, 97490 Sainte-Clotilde, La Réunion, France ;* marie-dominique.leroux@meteo.fr

[4] *Météo Madagascar, Direction des Recherches et Développements Hydrométéorologiques, BP 1254 Ampandrianomby, Antananarivo 101, Madagascar ;* stephasonk@gmail.com

Résumé : Le changement climatique impacte la répartition des biomes, notamment à Madagascar où la déforestation et les évolutions bioclimatiques exacerbent ces effets. Des études actualisées, en s'appuyant par exemple sur la classification de type Köppen-Geiger, sont essentielles pour comprendre ces vulnérabilités, en particulier à travers les scénarios climatiques futurs proposés ici grâce aux nouvelles données issues du projet BRIO. Pour Madagascar, les résultats montrent un réchauffement climatique important d'ici 2100, avec des hausses de températures maximales affectant l'ensemble de l'île, entraînant des modifications majeures des bioclimats.

Mots-clés : *cartographie bioclimatique, Madagascar, classification de Köppen-Geiger, réanalyses et projections.*

Abstract: ***Updating the bioclimatic map of Madagascar using BRIO data: observed situation and future projections***. Climate change is impacting the distribution of biomes, particularly in Madagascar where deforestation and bioclimatic changes are exacerbating these effects. Updated studies, based for example on the Köppen-Geiger classification, are essential to understand these vulnerabilities, particularly through the future climate scenarios proposed here thanks to new data from the BRIO project. For Madagascar, the results show significant global warming by 2100, with increases in maximum temperatures affecting the whole island, leading to major changes in bioclimates.

Keywords: *bioclimatic map, Madagascar, Köppen-Geiger classifications, reanalyses and projections.*

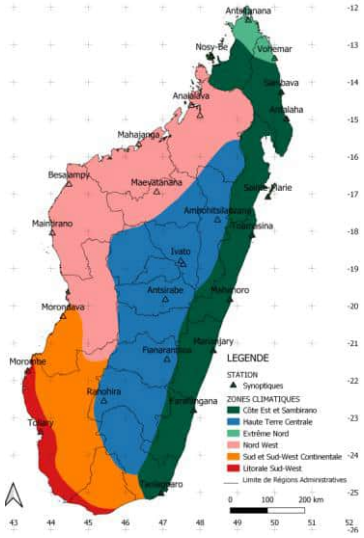
Introduction

Le changement climatique peut conduire à la formation de nouveaux écosystèmes, compliquant leur gestion et les actions de préservation (Conradi *et al.*, 2024). Il a surtout des impacts sur la répartition des biomes (*i.e.* les communautés biologiques partageant un même climat), avec des perturbations des fonctions écologiques et une perte de biodiversité, ainsi qu'une plus forte vulnérabilité de leur zone de transition, les écotones (Navarro *et al.*, 2024). A l'échelle de Madagascar, des inquiétudes pèsent sur la préservation des sylvo-agro-écosystèmes à la fois à cause du changement climatique mais aussi du fait d'évolutions environnementales liées à la déforestation. Pourtant, peu de diagnostics bioclimatiques actualisés existent, en particulier à cause du faible réseau d'observation et de l'hétérogénéité des séries climatiques. Or, Madagascar nécessite une attention urgente et une aide à la décision face au changement climatique, notamment par sa grande biodiversité et son haut degré d'endémisme (Lai et Beierkuhnlein, 2024). L'objectif est donc de dépasser le découpage climatique moyen généralement utilisé à l'échelle de Madagascar, auparavant en dix zones et désormais résumé à seulement six (figure 1), insuffisant pour des études sur le climat futur, en actualisant certaines classifications et cartographies bioclimatiques (par exemple celle très connue de Köppen-Geiger) et en calculant leurs évolutions potentielles à horizon 2100 selon les différents scénarios SSP (*Shared Socio-economic Pathways*) issus de CMIP6. Ces études sont nécessaires pour

comprendre les différentes vulnérabilités et capacités d'adaptation spécifiques. L'analyse s'appuie sur des données récentes issues du projet BRIO (*Building Resilience in the Indian Ocean,* Météo France – AFD Adapt'Action, 2018-2020) qui a produit des réanalyses pluvio-thermiques à haute résolution spatiale pour Madagascar, ainsi que des projections pour les scénarios SSP.

Figure 1. Découpage en six zones climatiques moyennes de Madagascar (adapté d'après Leroux *et al.*, 2023) :

- la Côte Est : climat tropical très humide à humide ;
- les Hautes Terres Centrales : climat tropical d'altitude ;
- la région Nord-Ouest : climat tropical tempéré ;
- la région Extrême Nord : climat tropical de transition entre humide et altitude ;
- les régions Sud et Sud-Ouest Continentales : climat tropical semi-aride ;
- le Littoral Sud-Ouest : climat tropical aride.



1. L'étude des évolutions climat-biomes grâce aux classifications bioclimatiques

Deux cartes mondiales des biomes (Olson *et al.*, 2001 ; Friedl *et al.*, 2010) sont omniprésentes dans la littérature scientifique, et de nombreuses méthodologies existent pour cartographier ces unités de végétations (ou leurs subdivisions intérieures plus précises, définies par des critères biogéographiques et écologiques plus fins, les écorégions) selon des variables et seuils bioclimatiques (Higgins *et al.*, 2016). Les quatre principales méthodes de classification climatique en lien avec les biomes sont : 1) la classification bioclimatique de Köppen-Geiger, qui demeure l'un des systèmes les plus anciens et largement utilisés ; 2) la typologie des biomes de Whittaker ; 3) les zones de vie de Holdridge ; 4) la classification de Thornthwaite-Feddema. Leurs cartographies évolutives sont utilisées pour quantifier les transitions bioclimatiques en termes de superficie terrestre mondiale à des niveaux clés de réchauffement climatique (Sparey *et al.*, 2023). Essentiellement fondées sur les températures et les précipitations moyennes annuelles et/ou mensuelles, et d'abord menées pour des patrons climat-végétation globaux, ces méthodes demandent une attention et une expertise particulière lorsqu'on procède à une descente d'échelle pour interpréter des liaisons régionales, surtout lorsqu'elles sont dérivées de résultats de modèles climatiques globaux (Navarro *et al.*, 2025).

Les meilleurs résultats dans la simulation des biomes et écotones proviennent en particulier des modèles numériques qui possèdent les meilleures estimations des précipitations. Ainsi, alors qu'a priori, des erreurs de température de 1 à 2°C entre les observations et la paramétrisation dans les simulations numériques ne modifient pas radicalement les classifications projetées des zones climatiques de Köppen-Geiger, celles fondées sur les précipitations peuvent en revanche être considérablement affectées par les erreurs observées (Song et al., 2025). En outre, si les biomes représentent la répartition potentielle (au sens climacique) des écosystèmes, ils ne reflètent pas nécessairement l'état actuel des habitats naturels observés. C'est surtout le cas des espaces forestiers tropicaux à cause de la perte anthropogénique d'habitats naturels (Lai et Beierkuhnlein, 2024).

Il existe déjà plusieurs bases de données proposant des cartographies globales de la classification climatique Köppen-Geiger à haute résolution (1 km) pour les conditions historiques et futures, fondées sur les scénarios CMIP5 (RCP) ou CMIP6 (SSP), avec des approches ensemblistes multi-modèles. La plus connue est celle de Beck *et al.* (2023), déclinée en ligne pour une lecture cartographique via le portail https://koppen.earth/. Cette étude indique ainsi qu'entre 1901-1930 et 1991-2020, environ 5 % de la surface terrestre mondiale (sauf Antarctique) ont déjà changé de classe de Köppen-Geiger. Pour les projections CMIP6, en partant de la période de référence 1991-2020 et à échéance 2071-2099, les auteurs évoquent 5 % de changement de classe pour le scénario SSP1-2.6, 8 % pour celui SSP2-4.5 et 13 % pour celui SSP5-8.5. Mais ces études ne s'appuient pas en amont sur des séries climatiques *in situ* et des paramétrisations spécifiques à Madagascar pour la définition des réanalyses et des projections climatiques, ni en aval sur une interprétation des évolutions par biomes et écorégions de ce territoire insulaire. D'autres analyses menées à l'échelle planétaire montrent qu'en Afrique, l'augmentation de la température accélère le stress hydrique et réduit les écotones entre la forêt humide subtropicale et la forêt tropicale sèche, favorisant le remplacement par des espaces savanicoles et forestiers tolérants à la sécheresse (Navarro *et al.*, 2024). On observe ainsi en Afrique surtout des changements dans les climats tropicaux et tempérés au cours de la période historique, avec des variations significatives des types Cwa (tempéré chaud avec hiver sec et été moite) et Cfb (tempéré chaud sans saison sèche) sur la période récente (Song et al., 2025). Li *et al.* (2024) montrent que ce sont surtout les températures extrêmes qui exercent une influence significative sur les écosystèmes terrestres. Etudiée pour la période 2001-2018, la productivité végétale subit une nette diminution ou quasi arrêt dès qu'apparaissent respectivement des anomalies thermiques supérieures à 1,45 et 3 écarts-types, seuils correspondant typiquement à des températures potentiellement atteintes vers 2050 et 2070 selon les scenarios du GIEC.

A l'échelle de Madagascar, il existe une classification bioclimatique originale élaborée par Cornet (1973) reposant sur des critères pluvio-thermiques et le déficit hydrique cumulé de la saison sèche, en distinguant 5 étages climatiques. Mais elle n'est pas actualisée et ne permet pas à ce stade d'être comparée avec d'autres ou utilisée pour l'étude des projections futures. Les études bioclimatiques menées à l'échelle malgache avec des approches multi-modèles pour comprendre les évolutions futures ont plutôt porté sur les stocks et émissions de carbone forestiers, sans tenir compte des changements de biomes (Vieilledent *et al.*, 2016).

2. Les données BRIO : réanalyses (1981-2014) et projections (2015-2100)

Le projet BRIO a permis de développer et valider des projections climatiques haute résolution pour l'ouest de l'Océan Indien (en s'appuyant sur une descente d'échelle dynamique avec le modèle ALADIN-Climat) à l'horizon 2100 (Leroux *et al.*, 2024). A l'échelle de Madagascar, en s'appuyant sur une expertise régionale (via la Direction Générale de la Météorologie à Madagascar) et sur une validation avec les séries *in situ* historiques disponibles, BRIO a produit des réanalyses journalières pluvio-thermiques (précipitations, températures minimales et maximales) pour la période de référence 1981-2014, ainsi que les projections CMIP6 2015-2100 selon les scénarios SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5, à une résolution spatiale de 4 km. L'ensemble des données est disponible librement sur https://galilee.univ-reunion.fr/thredds/catalog/brio/catalog.html. Toutes les phases méthodologiques, ainsi que celles de validations climatologiques et numériques sont décrites dans Leroux *et al.* (2023). Par ailleurs, un portail cartographique permet également de visualiser et extraire facilement certains indicateurs climatiques, aux échelles annuelle ou saisonnière, selon la période et scénario retenu : http://climat.coi-ioc.org/.

3. Analyses et résultats

3.1. Evolutions des extrêmes thermiques et des sécheresses

Ces deux paramètres sont analysés car essentiels dans les contraintes bioclimatiques subies par la végétation et pouvant amener à des évolutions majeures à moyen terme des communautés et des écosystèmes, donc de la cartographie des biomes (Navarro *et al.*, 2024). Parmi les différents scénarios étudiés par BRIO, seul celui dit « le plus pessimiste », le scénario SSP5-8.5, est montré ici pour la période de référence 1981-2014, et selon les deux horizons temporels milieu (2041-2070) et fin de siècle (2071-2100). La cartographie évolutive des maximums des températures moyennes annuelles maximales suggère des évolutions majeures à l'échelle de Madagascar (figure 2) : 1) une hausse très significative sur l'ensemble des façades de l'île dès 2041-2070 ; 2) ce réchauffement augmenterait ensuite pour l'échéance 2071-2100, avec des températures moyennes supérieures à 28°C, qui gagnent aussi l'intérieur du pays, à l'échelle des reliefs centraux ; 3) à la fin du siècle, seuls quelques espaces relictuels correspondant aux principaux reliefs conserveraient des températures maximales moyennes inférieures à 21°C.

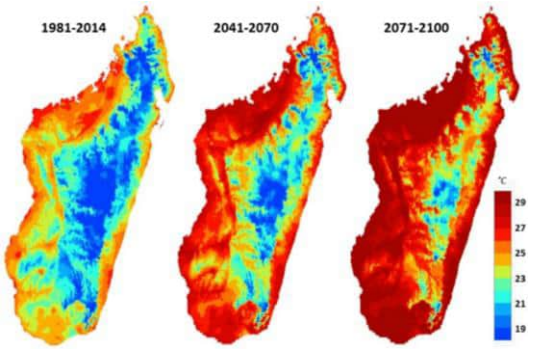


Figure 2. Moyennes annuelles des maximums des températures maximales (Tx) à Madagascar pour la période observée 1981-2014, et selon les deux périodes futures 2041-2070 et 2071-2100 selon le scénario SSP5-8.5 (cartes adaptées à partir du portail BRIO fournissant les simulations à une résolution spatiale de 4 km).

Madagascar passerait en moyenne de 98 jours secs pour la période 1981-2014, à respectivement 103 puis 105 pour les échéances 2041-2070 puis 2071-2100 (figure 3). Ce changement moyen de seulement quelques jours cache des évolutions beaucoup plus significatives pour deux régions, qui devraient enregistrer une hausse potentielle de plus de 30 jours secs dans les prochaines décennies : les régions Boeny, Betsiboka et Sofia au nord-ouest, et celles de Menabe et Antsimo Andrefana au sud-ouest.

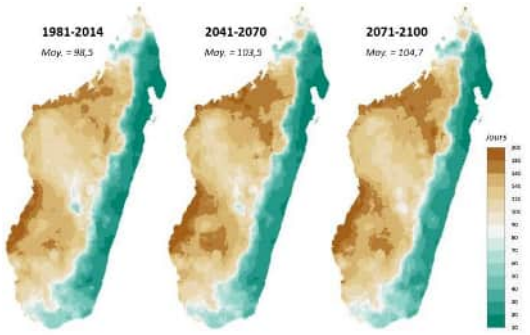


Figure 3. Nombres de jours secs à Madagascar pour la période observée 1981-2014, et selon les deux périodes futures 2041-2070 et 2071-2100 selon le scénario SSP5-8.5 ; la moyenne est indiquée pour chacune des sous-périodes (cartes adaptées à partir du portail BRIO fournissant les simulations à une résolution spatiale de 4 km).

3.2. *Evolutions des types de Köppen-Geiger pour le scénario "pessimiste" SSP5-8.5*

Même si la cartographie des climats de Köppen-Geiger à l'échelle de Madagascar est très proche de celle proposée dans un cadre planétaire par Beck *et al.* (2023), celle réalisée à partir des données BRIO aboutit à moins de simplifications régionales (figure 4). C'est notamment le cas dans le nord-est, pour la transition entre climats humides et subtropicaux, mais aussi dans tout l'espace méridional appelé 'Grand Sud', généralement associé au type AW de savane selon Beck *et al.* (2023), alors que la typologie réalisée avec BRIO indique plutôt un type BSh semi-aride et BWh désertique. Le calcul des changements intra- ou interclasses futurs (pour

l'échéance 2041-2070, figure 4) suggère des évolutions significatives à l'échelle de toute l'île : 1) des changements intra-classes au sein de l'écotone marquant la transition au sud entre climats semi-arides et arides, ou bien dans ceux humides de la façade orientale ; 2) des changements interclasses dans une grande partie des espaces centraux à climats tempérés et nuances subtropicales.

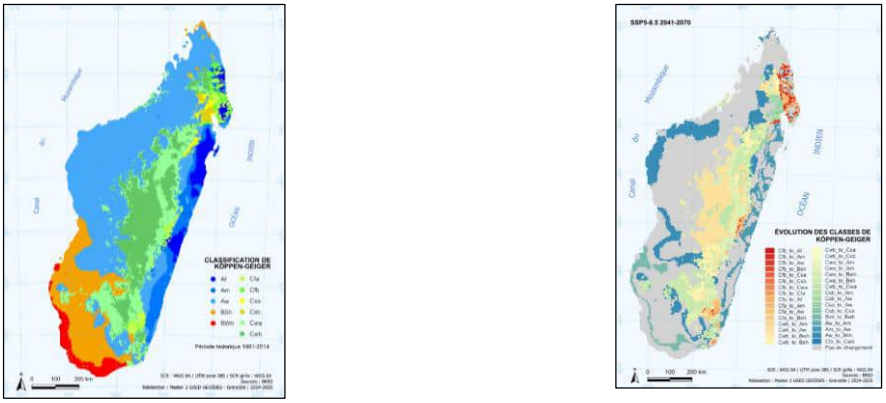


Figure 4. **A gauche)** Classification de Köppen-Geiger à Madagascar calculée à partir des données BRIO pour la période de référence 1981-2014 ; **à droite)** Cartographie résumant les évolutions potentielles attendues des types climatiques entre la période de référence et celle correspondant au scénario SSP5-8.5 pour la période 2041-2070. Analyses adaptées à partir de travaux réalisés avec les étudiants de Master 2 GEOÏDES (février 2025).

Les climats secs (BSh et moindrement BWh) devraient respectivement gagner 17,7 et 2,8 % à échéance 2041-2070 (tableau 1). Le climat tropical de savane Aw (*i.e.* un climat de transition) devrait s'étendre de 9,5 %, et même de 16,7 % d'ici la fin du siècle. Les climats tempérés chauds humides (Cwa) et océaniques (Cwb) devraient diminuer respectivement de 11,4 et 14 %.

Tableau 1. Répartition actuelle (% pour la période de référence 1981-2014) et évolutions potentielles (en %) des types de Köppen-Geiger (noms explicites rappelés dans le tableau à droite) calculés à partir des données BRIO à l'échelle de Madagascar, selon le scénario SSP5-8.5 pour les périodes 2041-2070 et 2071-2100.

Types climatiques	% 1981-2014	Δ % 2041-2070	Δ % 2071-2100
Af	3,14	-1,52	-2,31
Am	5,39	+1,02	+0,07
Aw	42,68	+9,53	+16,98
BSh	13,87	+17,77	+14,5
BWh	2,81	+2,79	+1,91
Cfa	2,11	-1,97	-2,05
Cfb	1,14	-1,13	-1,23
Csa	0,71	-0,37	-0,46
Csb	0,66	-0,63	-0,65
Cwa	13,39	-11,43	-12,76
Cwb	14,1	-14,06	-14,09

Classes	Types
A : climat tropical	○ Équatorial : Af ○ Mousson : Am ○ Savane : Aw, As
B : climat sec	○ Désertique : BWh, BWk, BWn ○ Semi-aride : BSh, BSk, BSn
C : climat tempéré	○ Subtropical humide : Cfa, Cwa ○ Océanique : Cfb, Cwb, Cfc, Cwc ○ Méditerranéen : Csa, Csb, Csc

Conclusion

Les analyses menées à partir des données BRIO permettent une actualisation et amélioration des diagnostics liés aux changements attendus dans la cartographie bioclimatique de Madagascar. L'objectif est désormais de calculer, pour la période observée ainsi que pour les projections futures, une nouvelle version actualisée de la classification bioclimatique de Madagascar dite « de Cornet » (après celle initiale établie en 1973), afin de préciser les évolutions régionales en tenant compte du bilan hydrique et de l'altitude. La prochaine version des données BRIO (qui s'appuient à ce stade uniquement sur le modèle climatique CNRM-ESM2-1 de l'ensemble CMIP6 et celui d'échelle régionale ALADIN) devra pouvoir mieux quantifier les incertitudes, en s'appuyant sur un ensemble de modèles CMIP6. Ces résultats

amélioreront les prochaines simulations climat-végétation, ainsi que la paramétrisation de la période historique (Song et al., 2025).

Remerciements : Ces travaux sont réalisés dans le cadre de l'IRN (*International Research Network*) franco-malgache CC-MADA '*Changements Climatiques à Madagascar : impacts sur les sylvo-hydro-agrosystèmes*' soutenu par le CNRS (INSU) sur la période 2024-2028.

Bibliographie

Beck H. E., McVicar T. R., Vergopolan N., Berg A., Lutsko N. J., Dufour A., Zeng Z., Jiang X., van Dijk A. I. J. M., Miralles D. G., 2023 : High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. Scientific Data, 10, 724, https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6

Conradi T., Eggli U., Kreft H., Schweiger A. H., Weigelt P., Higgins S. I., 2024 : Reassessment of the risks of climate change for terrestrial ecosystems. *Nature Ecology & Evolution*, 8, 888-900, https://doi.org/10.1038/s41559-024-02333-8

Cornet A., 1973 : Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. *Terre Malgache*, 15, Université de Madagascar, Ecole Nationale Supérieure Agronomique, 14 pages.

Friedl M. A., Sulla-Menashe D., Tan B., Schneider A., Ramankutty N., Sibley A., Huang X., 2010 : MODIS Collection 5 Global Land Cover: Algorithm refinements and characterization of new datasets. *Remote Sensing of Environment*, 114, 1, 168-182, https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.016

Higgins S. I., Buitenwerf R., Moncrieff G. R., 2016 : Defining functional biomes and monitoring their change globally. *Global Change Biology*, 22, 3583-3593, https://doi.org/10.1111/gcb.13367

Lai Q., Beierkuhnlein C., 2024 : The vulnerability of Malagasy protected areas in the face of climate change. *Diversity*, 16, 661, https://doi.org/10.3390/d16110661

Leroux M.-D., Bonnardot F., Kotomangazafy S. F., Said A.-O., Veerabadren P., *et al.*. 2023 : Régionalisation du changement climatique et développement de services climatiques dans le sud-ouest de l'océan Indien et ses territoires insulaires. Météo France, hal-03966983v7

Leroux M.-D., Bonnardot F., Somot S., Alias A., Kotomangazafy S., Saïd Ridhoine A.-O., Veerabadren P., Amélie V., 2024 : Developing climate services for vulnerable islands in the Southwest Indian Ocean: A combined statistical and dynamical CMIP6 downscaling approach for climate change assessment. *Climate Services*, 34, 100491, https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100491

Li X., Huntingford C., Wang K., Cui J., Xu H., Kan F., Anniwaer N., Yang H., Peñuelas J., Piao S., 2024 : Increased crossing of thermal stress thresholds of vegetation under global warming. *Global Change Biology*, 30, e17406, https://doi.org/10.1111/gcb.17406

Navarro A., Lee G., Martín R., Tapiador F. J., 2024 : Uncertainties in measuring precipitation hinders precise evaluation of loss of diversity in biomes and ecotones. *Journal of Climate and Atmospheric Science*, 35, 7-35, https://doi.org/10.1038/s41612-024-00581-w

Navarro A., Merino A., García-Ortega E. Tapiador F., 2025 : Uncertainty maps for model-based global climate classification systems. Sci. Data, 12, 35, https://doi.org/10.1038/s41597-025-04387-0

Olson D. M., Dinerstein E., Wikramanayake E. D., Burgess N. D., Powell G. V. N., Underwood E. C., D'amico J. A., Itoua I., Strand H. E., Morrison J. C., Loucks C. J., Allnutt T. F., Ricketts T. H., Kura Y., Lamoreux J. F., Wettengel W. W., Hedao P., Kassem K. R., 2001 : Terrestrial ecoregions of the world: A new map of life on earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. *BioScience*, 51, 11, 933-938, https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0933:TEOTWA]2.0.CO;2

Song Y. H., Chung E.-S., Ayugi B. O., 2025 : CMIP6 GCMs projected future Koppen-Geiger climate zones on a global scale. Earth's Future, 13, e2023EF004401, https://doi.org/10.1029/2023EF004401

Sparey M., Cox P., Williamson M. S., 2023 : Bioclimatic change as a function of global warming from CMIP6 climate projections. *Biogeosciences*, 20, 451-488, https://doi.org/10.5194/bg-20-451-2023

Vieilledent G., Gardi O., Grinand C., Burren C., Andriamanjato M., Camara C., Gardner C. J., Glass L., Rasolohery A., Rakoto Ratsimba H. F. D., Gond V., Rakotoarijaona J.-R., 2016 : Bioclimatic envelope models predict a decrease in tropical forest carbon stocks with climate change in Madagascar. *Journal of Ecology*, 104, 703-715, https://doi.org/10.1111/1365-2745.12548

ACCESSIBILITE ET DURABILITE DES SERVICES PUBLICS D'EAU POTABLE DANS LA COMMUNE D'AKPRO-MISSERETE

Sèmassa Janvier DANSOU [1], Dègla Hervé KOUMASSI[2]

1 Doctorant en 3è année de thèse à l'Ecole Doctorale Pluridisciplinaire «Espace Culture et Développement» option Géographie et Gestion de l'Environnement ; chargé de recherche au Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey – Calavi (Benin), jandas05@yahoo.fr, (229) 01 66 26 68 49

2 Enseignant Chercheur, Maître de Conférences des Universités (CAMES) FASHS/UAC, Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey – Calavi (Benin), kharidad1@gmail.com, (229) 01 97 12 86 31

***Résumé** : L'accès à l'eau potable est un droit humain et cela oblige l'Etat à respecter, protéger et mettre en œuvre ce privilège universel. L'accès à l'eau potable signifie qu'elle est disponible, accessible et utilisée par la population desservie. L'objectif de cet article vise à analyser la durabilité de l'accessibilité des usagers aux services publics d'eau potable de la Commune d'Akpro-Missérété. Pour atteindre cet objectif, une démarche méthodologique comportant la recherche documentaire, les travaux de terrain, le traitement des données et l'analyse des résultats a été adoptée. Les résultats montrent que le système d'approvisionnement en eau potable de la Commune est constitué de plusieurs types d'ouvrages hydrauliques notamment 183 FPMH ; 14 PEA ; 10 AEV ; 2 SAEPmV et le réseau SONEB. Avec un taux de desserte de 24,16 % pour une population estimée à 210 453 habitants, l'accessibilité à l'eau potable est très contrasté d'une localité à une autre à cause les disparités d'aménagement en infrastructures hydrauliques et l'état d'abandon de 65,57 % des FPMH. 50,58 % des ménages enquêtés pensent que l'achat de l'eau pèse sur leur revenu mensuel. Ce poids explique le recours à des sources alternatives de 48 % des ménages et 46 BF des SAEPmV réalisés en 2022 sont fermées. L'accessibilité géographique, les temps que perdent les ménages pour s'approvisionner restent à améliorer pour une durabilité de la fourniture à un tarif acceptable des ménages pauvres.*

***Mots-clés** : Commune d'Akpro-Missérété ; accessibilité ; durabilité ; services publics d'eau potable*

***Abstract**: **Accessibility and sustainability of public drinking water services in the commune of Akpro-Misserete.** Access to drinking water is a human right and this obliges the State to respect, protect and implement this universal privilege. Access to drinking water means that it is available, accessible and used by the population served. The objective of this article aims to analyze the sustainability of users' accessibility to public drinking water services in the Municipality of Akpro-Missérété. To achieve this objective, a methodological approach including documentary research, field work, data processing and analysis of results was adopted. The results show that the drinking water supply system of the Municipality is made up of several types of hydraulic structures including 183 FPMH; 14 PEA; 10 AEV; 2 SAEPmV and the SONEB network. With a service rate of 24.16% for an estimated population of 210,453 inhabitants, accessibility to drinking water varies greatly from one locality to another due to the disparities in the development of hydraulic infrastructure and the state of abandonment of 65.57% of FPMH. 50.58% of the households surveyed believe that the purchase of water weighs on their monthly income. This burden explains the use of alternative sources by 48% of households and 46 BF of the SAEPmV carried out in 2022 are closed. Geographic accessibility, the time that households lose to obtain supplies remain to be improved for the sustainability of the supply at an acceptable rate for poor households.*

***Key words:** Municipality of Akpro-Missérété; accessibility; sustainability; public drinking water services*

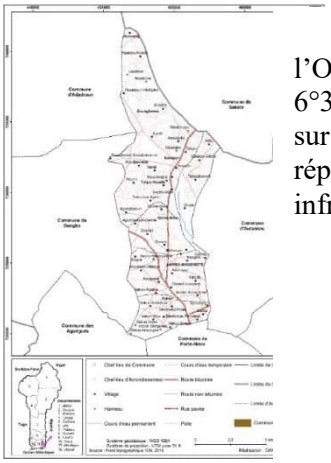
Introduction

Avec les réformes engagées dans le sous-secteur de l'eau potable en milieu rural au bénin, se traduisant par le transfert des infrastructures hydrauliques à l'Agence Nationale de l'Approvisionnement en Eau Potable en Milieu Rural (ANAEPMR) et le contrat d'affermage à l'opérateur régional, l'accessibilité et la durabilité restent à prendre en compte. L'eau est la ressource essentielle à partir de laquelle, l'on peut satisfaire les besoins sociaux et produire des richesses pour réduire la pauvreté (PANGIRE, p 30).Selon l'article 6 de loi n° 2010-44 portant gestion de l'eau en République du Bénin, chaque citoyen béninois a le droit de disposer de l'eau pour ses besoins et les exigences élémentaires de sa vie et de sa dignité (loi N°2010-44 du 24 /11/2010, p 5). En 2019, 785 millions de personnes ne disposaient pas d'un service de base d'alimentation en eau potable et 144 millions d'entre elles doivent utiliser l'eau de surface (UNICEF, OMS, 2019). La même source indique qu'en Afrique subsaharienne,

seuls 24% de la population a accès à l'eau potable ; 39% n'ont pas accès aux services de base élémentaire en eau potable et 135 millions de personnes font plus de 30 mn de marche chaque jour pour accéder à un point d'eau potable. S'il faut penser globalement les relations entre l'eau et le développement durable, il faut agir localement pour réduire les effets néfastes de ces perturbations. D'où le choix du titre de cet article. Ce travail de recherche s'articule autour de deux axes. Le premier axe traite de la démarche méthodologique. Le deuxième présente et analyse les résultats.

1. Cadre de recherche

La Figure 1 présente la situation géographique de la Commune d'Akpro-Missérété.



La Commune d'Akpro-Missérété est localisé dans le département de l'Ouémé en République du Bénin. Le secteur de recherche est compris entre 6°30' et 6°39' Latitude Nord et entre 2°32' et 2°38' Longitude Est, et s'étend sur une superficie de 79 km2. Elle compte 50 villages et quartiers de villes répartis dans cinq (05) arrondissements. Ces localités disposent des infrastructures hydrauliques qui assurent le service public d'eau potable.

Figure 1 : Situation géographique de la Commune d'Akpro-Missérété

2. Matériels et méthode de traitement des données

La démarche méthodologique a consisté d'abord à collecter des données à travers la recherche documentaire et les enquêtes de terrain. Un GPS (Global Positioning System) a été utilisé pour la prise des coordonnées géographiques des infrastructures hydrauliques grâce à l'application KoboCollect V2024.1.3., et des questionnaires. Le logiciel d'analyse SIG ArcGis 9.3. a été utilisé pour extraire la zone d'étude. Selon l'OMS (2017, p.107), un individu a accès à l'eau, s'il est desservi par un réseau dans un rayon de 1000 m de son habitation avec une durée du déplacement aller-retour ne dépassant pas 30 min. Sur la base de cette norme, un tampon à forme circulaire de 500 mètres de rayon a d'abord été créé au tour de chaque point d'eau fonctionnel sous QGIS. Les chevauchements entre auréoles ont été brisés afin d'avoir une surface homogène montrant l'emprise spatiale totale de l'ensemble des ouvrages hydrauliques. Ensuite, cette couche surfacique a été utilisée pour classer la couche ponctuelle de concessions en deux catégories : les concessions tombant à l'intérieur de l'emprise spatiale des points d'eau dans un rayon de 500m (accessibilité facile en vert) et les habitations tombant à l'intérieur de l'emprise spatiale des points d'eau dans un rayon de 1000m (accessibilité moyen en jaune) contre celles situées dans un rayon au-delà de 1000m (accessibilité difficile).

3. Echantillonnage

Cette recherche a pris en compte les catégories d'acteurs suivants (l'Etat, les acteurs communaux, les exploitants, l'ACEP, les chefs ménages et les personnes ressources).

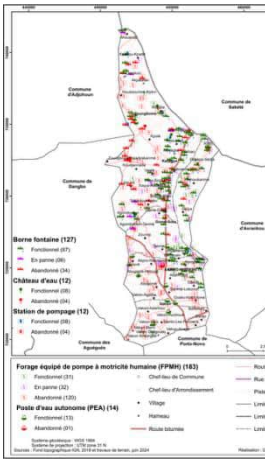
Pour la collecte des données sur les infrastructures, la cible visée est constituée d'hommes et de femmes dans les cinq (5) arrondissements. L'unité statistique est le ménage avec un choix raisonné. La taille de l'échantillon a été déterminée par la formule de (D. Schwartz, 2002 ; p 278) avec un degré de confiance de 95 % soit une marge d'erreur de plus ou moins 5 %.($\mathbf{N = Z\alpha^2 . P\ Q\ /\ d^2}$) Au total, 170 ménages ont été enquêtés. 22(Délégataires /fermiers/ membres de l'Association des Consommateurs d'Eau Potable(ACEP)) ont été interrogés. A ceux-ci s'ajoute 16 personnes ressources réparties comme suit : Autorités locales(5) ; Agents de la mairie(3) ; Agents de la SONEB(3) ; Service hydraulique de l'Ouémé et DG-Eau(3) ; ANAEPMR(2).

4. Résultats : Analyse de l'accessibilité et de la durabilité des services publics d'eau potable

La lutte contre la pauvreté constitue un objectif commun aux diverses stratégies de développement durable et il est important d'accroître le bien être des pauvres en leur permettant d'avoir accès aux besoins essentiels.

4.1. Disponibilité des infrastructures hydrauliques dans la commune d'Akpro-Missérété

Le système d'approvisionnement en eau potable du service public de la commune d'Akpro-Missérété est constitué de plusieurs ouvrages hydrauliques notamment les Forages équipés de Pompes à Motricité Humaine (FPMH), les Postes d'Eau Autonomes (PEA), les adductions d'eau villageoises(AEV) et le Système d'Approvisionnement en Eau Potable multi-Villages (SAEPmV) et le réseau d'eau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB). La figure 2 présente le récapitulatif de la répartition spatiale et l'état des ouvrages hydrauliques de la Commune d'Akpro-Missérété.



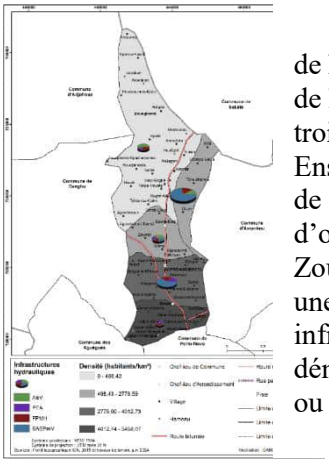
D'après la figure 2, la Commune d'Akpro-Missérété dispose de 4 types d'ouvrages inégalement répartis dans les 5 Arrondissements de la Commune. L'Arrondissement de Katagon a le taux de couverture le plus élevé de la Commune et l'Arrondissement de Vakon le taux de couverture le plus bas. Sur 183 Forages équipés de Pompes à Motricité Humaine (FPMH) disponibles, 120 sont abandonnés, 32 sont en pannes et 31 sont fonctionnels. En ce qui concerne les Postes d'Eau Autonomes (PEA), 13 sont fonctionnels contre 1 en état d'abandon. 12 stations de pompages refoulent de l'eau dans 12 châteaux d'eau qui alimentent 127 BF dont 87 fonctionnels. L'Arrondissement de Vakon est peu couverte en ouvrage hydraulique. L'Arrondissement de Zoungbomè dispose des AEV mais qui sont en panne ou abandonnées. Cet état des ouvrages influence négativement l'accès à l'eau potable dans ces villages.

Figure 2 : Récapitulatif de la répartition spatiale et l'état des ouvrages.

Le taux de desserte de la Commune d'Akpro-Missérété est 24,16 % pour une population estimée à 210 453 habitants. Ce taux réel devrait être de 37,96 % si les 46 BF des SAEPmV étaient utilisées par la population des localités bénéficiaires.

4.2. Répartition des infrastructures hydrauliques suivant la densité de la population

L'importance des ouvrages hydrauliques est mieux appréciée quand ils sont beaucoup plus accessibles par les populations. Pour mieux apprécier les facteurs démographiques liés à la distribution de ces ouvrages hydrauliques, les couches des ouvrages hydrauliques et de la densité des populations ont été superposées et sont présentées sur la figure 3.



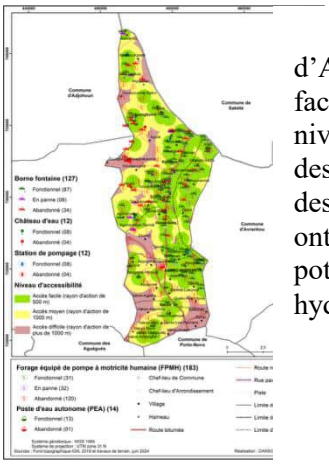
Cette figure met en relief la concentration des infrastructures en fonction de la densité de la population par arrondissement. Les arrondissements au sud de la Commune (Vakon et Akpro-Missérété) sont les plus peuplés et regroupe trois types d'infrastructures hydrauliques (FPMH ; PEA et SAEPmV). Ensuite l'arrondissement de Gomè-Sota et la partie est de l'arrondissement de Katagon, moyennement densifiés et comportent au moins trois types d'ouvrages (FPMH ; AEV et SAEPmV). Par contre, l'arrondissement de Zoungbomè et la grande partie de l'Arrondissement de Katagon connaissent une faible concentration humaine avec trois types d'infrastructures. Plusieurs infrastructures sont parfois installées au même endroit à cause du poids démographiques des localités environnantes et de la récurrence des pannes ou l'abandon des FPMH.

Figure 3 : Relation entre infrastructures hydrauliques du service public d'eau potable et densité de la population de la Commune d'Akpro-Missérété

Ainsi, chaque type d'infrastructure peut desservir une zone précise en fonction des besoins des habitants et peut supporter une charge démographique limitée pour sa durabilité.

4.3. Accessibilité géographique des usagers au service public d'eau potable dans la Commune d'Akpro-Missérété

La figure 4 présente le niveau d'accessibilité global des usagers aux ouvrages hydrauliques du service public d'eau potable de la Commune d'Akpro-Missérété.



D'après la figure 4, les habitants des localités à l'est des Arrondissements d'Akpro-Missérété, de Gomè-Sota et Katagon ont un niveau d'accessibilité facile aux ouvrages du service public d'eau potable de la Commune. Ce niveau d'accessibilité résulte de la disponibilité et de la répartition spatiale des FPMH, PEA et des BF des AEV et surtout des SAEPmV. Les habitants des localités des Arrondissements de Zoungbomè ; Gomè-Sota(est) et Vakon ont un niveau d'accessibilité moyen aux ouvrages du service public d'eau potable à cause de l'inégale répartition des différents types d'ouvrages hydrauliques ajouté à l'état d'abandon du peu existant.

Figure 4: Niveau d'accessibilité global des usagers aux ouvrages hydrauliques du service public d'eau potable de la Commune d'Akpro-Missérété

Les habitants des localités de Sohomey ; Danto ; de vakon-Agatha et Vakon-Adanhou dans l'Arrondissement de Vakon ; de Zoundji dans l'Arrondissement de Gomè-Sota ; de Kpolè ; de Zoungbomè-Kpadjrakanmè dans l'Arrondissement de Katagon et celles de Akpatatan et Houèzoumè-Kpèvi dans l'Arrondissement de Zoungbomè ont un niveau d'accessibilité difficile aux infrastructures du service public d'eau potable de la Commune à cause de l'indisponibilité d'ouvrages hydrauliques dans un rayon de 1000m.

4.4. Accessibilité géographique et temporelle du point de vue sociologique

De l'analyse des données, il ressort que l'accessibilité du point de vue sociologique à l'eau potable à travers les ouvrages hydrauliques du service public varie d'un arrondissement à un autre. En moyenne, 30,92 % des ménages enquêtés n'ont pas accès au service public de l'eau potable et 20,83 % ont un accès intermédiaire contre 6,76 % qui ont un accès optimal réduisant le taux de contamination au cours du transport et les risques de maladies hydriques. Ceci s'explique par les disparités d'aménagement et le taux de panne et d'abandon des ouvrages existants.

4.5. Accessibilité financière

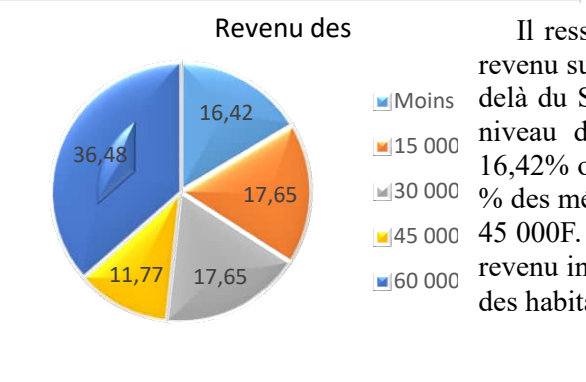
L'accessibilité à l'eau potable dépend aussi du prix de vente et du pouvoir d'achat des habitants de la zone d'implantation du service public d'eau potable.

4.5.1. Tarif de l'eau

Le prix de l'eau varie selon le type d'ouvrage hydraulique. Au niveau des FPMH de la Commune, la bassine de 35 L est vendue à 10 F CFA soit 1m^3 à 280 F. Au niveau des BF, le prix de la bassine de 25 litres est fixé à 15 F CFA soit 1m^3 à 598 FCFA. Le prix de vente de l'eau au niveau des BF est le double du prix d'accès au niveau des FPMH.

4.5.2-Accès à l'eau potable

Les populations sont confrontées à plusieurs difficultés dans leur quête d'accès à l'eau. La figure 5 présente les catégories des revenus mensuels des ménages enquêtés.

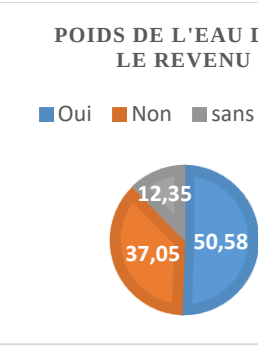


Il ressort que 36,48 % des ménages enquêtés ont un revenu supérieur à 60 000F. Ce seuil est relativement au-delà du SMIG qui est de 52 000F au Bénin et révèle le niveau de vie modeste dans les zones péri-urbaines. 16,42% ont un revenu inférieur à 15 000F suivi de 17,65 % des ménages qui ont un revenu compris entre 15 000 - 45 000F. Ces différentes proportions des ménages ont un revenu inférieur au SMIG traduisant le niveau de vie bas des habitants de ces ménages.

Figure 5 : Revenus mensuels des ménages enquêtés

Source : Enquête de terrain, juillet 2024

La figure 6 présente la perception des ménages du poids de l'eau potable dans leur revenu



Il ressort de cette figure que 50,58 % des ménages enquêtés pensent que l'achat de l'eau pèse sur leur revenu mensuel. Par contre 37,05 % ne partagent pas cette opinion. 12,35 % des ménages n'ont pas conscience du poids de l'eau dans leur revenu. 48 % des ménages font recours aux puits ou aux cours d'eau pour certains besoins (vaisselle, AGR et lessive) et se servent exclusivement de l'eau potable pour la boisson. Face à l'inaccessibilité au service public de l'eau, les populations ont développées des stratégies d'approvisionnement en eau.

Figure 6 : Perception des ménages du poids de l'eau dans leur revenu

Source : Enquête de terrain, juillet 2024

4.6. Stratégies alternatives d'approvisionnement en eau

L'eau est une ressource indispensable à la vie. Les populations, pour satisfaire les besoins en, ont mis en place deux principales stratégies d'approvisionnement en eau à savoir la réalisation des forages (Postes d'Eau Autonome Privé) et l'aménagement des puits.

5. Discussion

Les résultats obtenus ont montré que le service public d'eau potable dans la Commune d'Akpro-Missérété est assuré par plusieurs types d'ouvrages hydrauliques inégalement répartis dans la Commune. Ces résultats corroborent ceux obtenus par E. Emmanuel et P. Lindskog (2000), qui ont aussi constaté l'inégale répartition des infrastructures hydraulique dans la République d'Haiti ; H. Sylvie Carmelle Gérardine et *al ;* (2014, p 6), dans SIG et distribution spatiale des infrastructures hydrauliques dans la commune de Zè au Benin, fait remarquer que les infrastructures sont concentrées sur une partie du territoire (au centre et au Sud) de la commune. En moyenne, 30,92 % des ménages enquêtés n'ont pas accès au service public de l'eau potable et 20,83 % ont un accès intermédiaire. Ces résultats obtenus sont semblables à ceux de N. Thomas-Éric et *al ;* (2023, p 8), qui ont aussi constaté une faible accessibilité au service public d'approvisionnement en eau potable des populations de Douala.

Conclusion

La question de l'accessibilité à l'eau potable est récurrente. Cependant, elle se pose avec une acuité particulière dans la Commune d'Akpro-Missérété. Les ouvrages hydrauliques du service public d'eau potable sont inégalement répartis dans les localités. L'accessibilité à l'eau potable varie en fonction du lieu d'implantation de l'ouvrage et de la position géographique de chaque ménage. L'accès à l'eau implique donc sa disponibilité, son accessibilité a un coût acceptable.

Bibliographie

E. Emmanuel et P. Lindskog, "Regards sur la situation des ressources en eau de la république d'Haïti", (2000) 27 pages.

Loi n°2010-44 du 24 novembre 2010 portant gestion de l'eau en République du Bénin, (2010) 23 p.

Organisation mondiale de la Santé (OMS), 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e éd. intégrant le premier additif. OMS, Genève, 564 pages.

Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE) du Bénin, (2011) 74 p.

Sylvie Carmelle Gérardine HOUNGUEVOU, Coovi Aimé Bernadin TOHOZIN, Momodou SOUMAH et Inoussa TOKO MOUHAMADOU, « SIG et distribution spatiale des infrastructures hydrauliques dans la commune de Zè au Benin », (2014) 15 pages. ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.info

Thomas-Éric NDJOGUI, AMÉLIE-EMMANUELLE MAYI, Clarisse NGO NKOMHA, « Analyse de l'accessibilité à l'eau dans le quartier Oyack à Douala – Cameroun », Revue Espaces Africains (En ligne), **3** | 2023 (Varia), ISSN : 2957- 9279, mis en ligne, le 30 décembre 2023, p.56-76.

Un water, Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2024 ; L'Eau pour la prospérité et la paix, 24 pages.

UNICEF, OMS, 2019. « 1 personne sur 3 dans le monde n'a pas accès à de l'eau salubre », Disponible en ligne: [dernier accès, mars 2024].

GESTION MODÈLE DES EAUX DOMESTIQUES DANS L'ARRONDISSEMENT DE ZINVIE COMMUNE D'ABOMEY -CALAVI

Akoua Isabelle DOSSOU[1], Cocou Parfait BLALOGOE [2], Gbéwanou Maurice KOUNTANGNI [3], Expédit VISSIN [4]

1-Ecole Doctorale Pluridisciplinaire « Espaces, Culture et Développement » /Université d'Abomey- Calavi

2- Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques d'Abomey/ Bénin, ***Mail :*** *isabelledossou15@gmail.com,* ***Contact :91011438***

Résumé : *L'eau est indispensable à la vie. La gestion de l'eau est un problème auquel sont confrontées les populations au Bénin, particulièrement celles de l'arrondissement de Zinvié. La présente recherche vise à étudier les modes de gestion moderne des ouvrages hydraulique dans l'arrondissement de Zinvié. Pour y parvenir, la démarche méthodologique adoptée est axée sur la recherche documentaire et une enquête de terrain effectuée auprès de 184 personnes identifiées par choix raisonné. Les analyses révèlent que les différents modes de gestion moderne des ouvrages hydrauliques dans l'arrondissement comprennent la gestion communautaire (34,65 %), l'affermage (25,60 %) Gérance (21,98 %) Gestion individuelle (17,77 %).*

Mots-clés *: gestion, moderne, eau, Zinvié*

Abstract : Model management of domestic water in the zinvie district, commune of Abomey Calavi. *Water is essential for life. Water management is a problem faced by the populations of Benin, particularly those in the Zinvié district. This research aims to study the modern management methods of hydraulic structures in the Zinvié district. To achieve this, the methodological approach adopted is based on documentary research and a field survey carried out among 184 people identified by reasoned choice. Interviews using different water sources suggest that the sources of water supply in the district consist of rainwater (22%); wells (38.52%), PEA (80%), cisterns (10%), hand pumps (7%), SONEB network (5%). The analyses reveal that the different modern management methods for hydraulic works in the district include community management (34.65%), leasing (25.60%), management (21.98%), individual management (17.77%).*

Keywords *: management, modern, water, Zinvié*

INTRODUCTION

L'eau représente un important élément de développement socioéconomique, nécessaire au bien-être des sociétés ouest-africaines (Bessan, 2011). Sa gestion, sa disponibilité en quantité et en qualité pour l'approvisionnement des populations et la gestion des infrastructures hydrauliques se trouvent parmi les priorités actuelles des stratégies de réduction de la pauvreté dans les pays en voie de développement (MMEE, 2007). La rareté de cette ressource, sa pollution, sa demande croissante dans les secteurs de l'énergie et de l'agriculture, et les risques de conflits aux échelles locale, nationale et internationale, ont conduit les autorités béninoises à s'engager dans l'amélioration de la gestion des ressources en eau en optant pour une "Gestion Intégrée des Ressources en Eau" (Arayé, 2011).

La République du Bénin, tout en œuvrant pour garantir l'eau en quantité et en qualité pour tous les usages, s'est inscrite dans cette logique en optant pour une gestion rationnelle, efficiente et durable des ressources en eau (DG eau, 2008). Mais, la croissance démographique très rapide a engendré des besoins d'eau en augmentation constante. Cette multiplication de l'espèce humaine est à l'origine d'énormes problèmes de gestion de l'eau aussi bien dans les pays développés que ceux en développement (Blalogoe, 2002).

Malgré la construction de nombreux forages censés pallier le manque d'eau potable dans les zones rurales, force est de constater que de nombreux ménages n'ont pas accès à l'eau potable. Ceci en raison de la vétusté des ouvrages réalisés (Houéha, 2007). Du coup, les populations consomment les eaux fluviales souillées par des excréments humains (ABMS/PSI, 2010). A cette faiblesse s'ajoutent les pratiques provenant des populations que sont le manque ou

l'insuffisance de mesures d'hygiène qui ne garantissent pas la potabilité à l'eau (ABMS/PSI, 2010). Le constat actuel est que la population rurale est encore loin d'être entièrement approvisionnée. En 2006, le taux de desserte est de 44 % en milieu rural contre 51 % en milieu urbain (DG Eau, 2008).

La Commune d'Abomey- Calavi à l'instar d'autres Communes du Bénin, est confrontée aux problèmes de gestion des ressources en eau. En effet, les caractéristiques du substratum géologique de certaines localités de la Commune notamment de l'arrondissement de Zinvié ne favorisent pas la mise en place d'infrastructures hydrauliques adéquates. Malgré les efforts fournis par les autorités et les partenaires au développement à divers niveaux, le problème de gestion des eaux est loin d'être réglé en raison des caractéristiques physiques. De plus, la mauvaise répartition des ouvrages hydrauliques sur l'ensemble du territoire, la mauvaise qualité de l'eau de consommation par endroit et la mauvaise gestion des infrastructures hydrauliques réalisées en grand nombre ont des effets néfastes sur la gestion des ressources en eau dans la commune. Face au déficit et à l'absence de mécanismes fiables pour la gestion des eaux domestiques, les populations utilisent plusieurs pratiques. Mais ces pratiques de gestion des eaux sont-elles fiables ?

L'objet de cette recherche est d'analyser les modes de gestion moderne des eaux domestiques dans l'Arrondissement.

1.Milieu d'étude

Arrondissement de Zinvié est dans la commune d'Abomey-Calavi localisé dans le département de l'Atlantique au Sud du Bénin. Il est précisément situé entre les latitudes 6°30'27" et 6°40'26" Nord et entre les longitudes 2°19'31" et 2°25'24" Est. Zinvié est limité au nord par l'arrondissement de kpanrou, à l'Est par la Commune de Sô-Ava, à l'Ouest par la commune de Zè et au sud par les arrondissements de Glo-Djigbé et d'Akassato (figure 1).

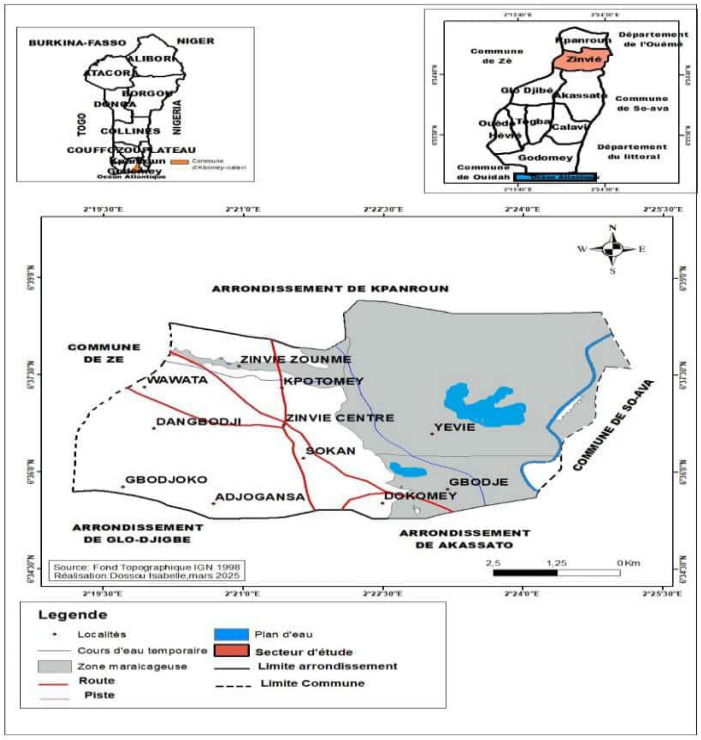


Figure 1 : Situation géographique et administrative de l'arrondissement de Zinvié

2. Méthodologie

La présente recherche est conduite dans les six (11) villages de l'arrondissement de Zinvié. Elle s'inscrit dans une approche mixte (combinaison des données quantitatives et qualitatives) sur le terrain. Elle s'est appuyée sur des données statistiques et démographiques de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) et sur diverses autres informations recueillies dans les centres de documentation de l'ABE, de l'IGN, du CENATEL, de la bibliothèque centrale de l'UAC. Une collecte de données a été faite dans ces villages à base de divers outils et matériels (questionnaire, guide d'entretien, appareil photographique numérique, etc.). Les techniques du focus group et les entretiens semi-directifs ont permis de renforcer les informations collectées auprès des ménages. A cet effet, le choix des personnes enquêtées repose sur les critères ci-après.

- Être une personne ayant vécu au moins une fois des contraintes liées à l'eau de boisson dans l'arrondissement de Zinvié.
- Avoir exercé au moins une des activités génératrices de revenus (élevage, la pêche, transformation des produits agricoles) dont l'eau est la base et l'avoir régulièrement exercé ces dernières années.
- Être âgé de 25 ans au moins et avoir résidé pendant au moins 5 ans dans l'un des villages de l'arrondissement.

Sur cette base, un total de 184 personnes réparties dans les onze (11) villages de l'arrondissement de Zinvié est enquêté lors des travaux de terrain. La population cible est constituée des femmes comme des hommes pour cette étude. Le traitement des données et l'analyse des résultats constituent la dernière partie de l'approche méthodologique utilisée. Les données ont été dépouillées, nettoyées et codifiées pour constituer une base qui a été analysée grâce à la méthode de triangulation.

3. Résultats

Les enquêtes de terrain ont montré que les populations de l'arrondissement de Zinvié sont confrontées à d'énormes difficultés dans la gestion de l'eau. Ces difficultés peuvent être classées en plusieurs catégories dont celles naturelles, financières et culturelles suivant les sources d'eau.

3.1- Modèles de gestion des eaux

Dans la commune d'Abomey-Calavi, il existe plusieurs modes de gestion des ressources en eau dont les modèles endogènes et ceux modernes. Mais cette étude est essentiellement basée sur les modèles de gestion des eaux moderne dans le milieu d'étude.

3.1.1. Mode de gestion des infrastructures hydriques

Le Bénin se caractérise par l'existence d'un grand nombre d'acteurs qui interviennent directement, ou indirectement sur les différents aspects de gestion et d'utilisation de la ressource en eau. En dehors de toutes ces dispositions légales et réglementaires internes en faveur de la bonne gestion des ressources en eau et de l'approvisionnement en eau potable, il existe au Bénin également la stratégie nationale sectorielle de l'approvisionnement en eau potable en milieu rural (2005-2015). Cette stratégie précise les différents modes de gestion des ouvrages hydrauliques en milieu rural. Ainsi, cette stratégie se base sur le principe de « l'eau paie l'eau » c'est-à-dire que les charges inhérentes à l'eau (de la production d'eau, du service, du suivi, de la maintenance et du renouvellement du matériel d'exhaure au niveau des Postes d'Eau Autonomes (PEA) et des Adduction d'Eau Villageoises (AEV) sont assurées par les recettes de l'eau. La gestion durable des infrastructures hydrauliques repose sur le principe de « la

délégation de gestion des ouvrages » où la communauté est au cœur de la gestion des ouvrages de son territoire. Ainsi, les différents modes de gestion des ouvrages hydrauliques dans l'arrondissement de Zinvié sont présentées dans le tableau I.

Tableau I : Modes de gestion des infrastructures hydrauliques

MODE DE GESTION	FREQUENCE (%)
Affermage	30,70
Gestion communautaire	37,72
Gestion déléguée	21,98
Gestion individuelle	17,77

Source : travaux de terrain, février 2025

Il ressort du tableau I que les deux principaux modes de gestion des infrastructures sont la gestion communautaire et l'affermage. Ainsi, 37,72% des ouvrages sont gérés suivant le principe de la gestion communautaire, 30,70 % des ouvrages sont confiés à un fermier. En dehors de ces modes, 21,98 % des infrastructures hydrauliques sont gérées par un délégataire et 17,77 % sont gérés par les individus qui les possèdent. En effet, la gestion communautaire s'applique aux types d'ouvrages hydrauliques répertoriés dans la commune d'Abomey-Calavi en général et particulièrement dans l'arrondissement de Zinvié. Il s'agit des Puits Modernes (PM), des Forages équipes de Pompes à Motricité humaine (FPM) et des forages artésiens. Dans cette région, seule la communauté est chargée de la gestion effective des ouvrages implantés sur le territoire avec l'aide des autorités communales. La gestion communautaire est basée sur le principe appelé approche par la demande. L'initiative des projets d'eau potable incombe toujours aux communautés qui en expriment le besoin sous forme de demandes de points d'eau adressées aux Communes. Quant à la gestion effective de l'ouvrage ainsi construit, la communauté se constitue en Association des Usagers de l'Eau régie par Décret n° 96-317 du 02 août 1996 et dont le rôle est de promouvoir les systèmes communautaires d'alimentation en eau potable des populations et gérer les équipements d'approvisionnement en eau de boisson. Par contre, dans la gestion par affermage, certaines Associations d'Usagers d'Eau Potable (AUEP) sont mises en affermage et l'on signe un contrat avec les conseils communaux et leur territoire à qui elles versent une redevance. En effet, il est à espérer une amélioration dans la gestion des ouvrages complexes tels que les AEV, inscrites dans un processus d'affermage dans le cadre de la mise en œuvre de la nouvelle stratégie d'AEP. Le fermier propose tout en négociant avec les usagers, un prix de l'eau qui couvre son coût (charges de fonctionnement et renouvellement des équipements) et qui lui assure une marge bénéficiaire. La commune doit donc être en mesure d'apprécier les prestations de l'exploitant sur le plan de la gestion technique (qualité et continuité du service) et de la gestion financière (recouvrement des charges d'exploitation).

DISCUSSION

Les résultats de cette étude montrent que les modes de gestion des ressources en eau globalement sont peu satisfaisants à l'instar d'autres régions du Bénin et d'Afrique. Il est donc essentiel de rechercher des solutions pour une gestion durable des ressources en eau. Une approche de solution pourrait être la gestion intégrée des ressources en eau associée aux modes de gestion des infrastructures de l'eau.

A l'issue de ce travail trois options d'adaptation ont été identifiées à savoir : la gestion des besoins en eau au regard des établissements humains (renforcement des capacités de tous les acteurs de la chaine de gestion de l'eau), l'amélioration de l'offre (approvisionnement quantitatif et qualitatif en eau) et enfin la conservation et l'utilisation rationnelle des ressources.

Ces options ont été également préconisées par d'autres auteurs dans d'autres contextes notamment par D. Djoret (2011 p.16) et B. Sambo (2013 p .52) dans la gestion des eaux du bassin du lac Tchad. A l'instar de notre zone d'étude, la couverture et la disponibilité en eau potable reste insuffisante.

CONCLUSION

Les ressources en eaux de l'arrondissement de Zinvié sont relativement modestes par rapport au besoin de la population. Ils sont très inégalement répartis et subissent l'influence des facteurs anthropiques et autres du milieu. Les populations développent également plusieurs stratégies et modes de gestion pour satisfaire leurs besoins en eau. Ces dernières présentent cependant des limites.

BIBLIOGRAPHIE

ARAYE Raoul, 2008, Mobilisation et gestion des eaux de ruissellement dans les arrondissements de Dassa 1 et Dassa 2, Mémoire de maitrise de géographie / **FLASH - UAC, 96 p**.

BLALOGOE Cocou Parfait, 2002, Eau et la santé publique en milieu de climat de transition : Etude de cas de la commune de Glazoué, Mémoire de maitrise de géographie, **FLASH/UAC, 99 p.**

BESSAN Modestine, 2011, Dynamique de la population et approvisionnement en eau de boisson dans la Commune d'Adjohoun, mémoire de **DEA, FLASH/UAC, 98 p**.

DG Eau 2008, Rapport d'exécution du budget programme **2007, DG eau Cotonou, 43 p.**

FANGNON Bernard, 2005, La question de l'eau potable et la gestion des équipements hydrauliques dans la commune de Djakotomey. Mémoire de maitrise, **DGAT/FLASH/UAC, 120 p.**

HOUEHA Yélognissè Coffi Laurel Hector, 2007, « L'amélioration des conditions d'accès à une eau potable pour l'eau de boisson dans les milieux ruraux du Bénin : étude des pratiques locales » Mémoire. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Maitrise en sciences de l'environnement, **117p.**

MINISTERE DES MINES DE L'ENERGIE ET DE L'EAU, 2007 : Stratégie nationale de l'approvisionnement en eau potable en milieu urbain **2006- 2015, 28 p.**

Odoulami L. (2009) La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou. Thèse de Doctorat Unique, EDP/ CUSTE/UAC, République du Bernin**, 230 p.**

TOTIN Vodounon Henri, 2005, Tendances hydro climatiques et scénarios de gestion des ressources en eau sur les plateaux du sud-Bénin. Mémoire de **DEA, EDP-FLASH/ UAC, 76 p.**

APPROCHE INTEGREE DPSIR-SIG POUR LA RESILIENCE CLIMATIQUE DU LAC GUIDIMOUNI : UNE ETUDE APPLIQUEE A LA REGION DE ZINDER, NIGER

Mahamadou Salifou KARIMOU BARKÉ[1], BernardTYCHON[2], Moussa EL JARROUDI[2]

[1] *Enseignant – chercheur, Université de Diffa ; Adresse : BP. 78 Diffa- Niger, E-mail :barke_mk@yahoo.fr*

[2] *Enseignant – chercheur, Université de Liège, E-mail : bernard.tychon@uliege.be, meljarroudi@uliege.be*

Résumé : Le lac Guidimouni, classé site Ramsar, subit de profondes perturbations, induites à la fois par des aléas climatiques extrêmes et par une pression anthropique croissante. La présente étude mobilise une approche intégrée combinant le cadre analytique DPSIR (Forces motrices, Pressions, États, Impacts, Réponses) et l'analyse d'images satellitaires, en vue de produire une cartographie fine de la vulnérabilité du lac et de ses zones périphériques. Les résultats révèlent deux pressions majeures compromettant la durabilité de l'écosystème : la submersion des terres agricoles par les crues et la prolifération massive de la plante aquatique *Typha australis*. Face à cette double menace, la mise en œuvre de techniques de faucardage s'avère une réponse stratégique prometteuse pour restaurer l'équilibre écologique du lac et renforcer la résilience des communautés riveraines.

Mots-clés : Lac Guidimouni ; *Typha australis* ; inondations ; cadre DPSIR ; SIG ; vulnérabilité des écosystèmes.

Abstract – Integrated DPSIR-GIS approach for climate resilience of Lake Guidimouni: a study applied to the Zinder region, Niger– Lake Guidimouni, a designated Ramsar site, is increasingly threatened by the combined effects of extreme climatic events and intense anthropogenic pressure. This study adopts an integrated methodological approach, combining the DPSIR (Drivers–Pressures–State–Impact–Responses) analytical framework with satellite data analysis, to produce a detailed vulnerability mapping of the lake and its surrounding areas. Findings highlight two critical and interrelated pressures undermining the resilience of the ecosystem: widespread flooding and the invasive expansion of the aquatic plant Typha australis. Approximately In light of these threats, the study recommends the implementation of targeted mechanical removal (faucarding) of aquatic vegetation as a strategic nature-based response to restore ecological functionality and enhance the adaptive capacity of local communities.

Keywords: Lake Guidimouni; *Typha australis*; flooding; DPSIR framework; GIS; ecosystem vulnerability;

Introduction

Le Niger, à l'instar de l'ensemble des pays sahéliens, fait face à une intensification préoccupante des manifestations du changement climatique, matérialisées par une hausse généralisée des températures, la recrudescence des épisodes de sécheresse, l'irrégularité et la concentration des précipitations, ainsi que la fréquence accrue des inondations destructrices (Karimou et al., 2015). Ce pays sahélien à climat continental aride est marqué par une saison des pluies courte (de juin à septembre) et une longue saison sèche (d'octobre à mai), accentuant la vulnérabilité des systèmes naturels et humains.

La multiplication des évènements climatiques extrêmes, combinée à une exploitation incontrôlée et soutenue des ressources hydriques, ainsi qu'à une pression démographique croissante, contribuent fortement à la dégradation des écosystèmes et à l'érosion de leurs capacités de résilience. Les ressources en eau du pays, en particulier les zones humides, subissent une pression sans précédent, menaçant non seulement leur pérennité écologique, mais également les services écosystémiques fondamentaux qu'elles assurent (Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable, 2018).

Dans ce contexte, le lac Guidimouni, classé site Ramsar, constitue un écosystème stratégique pour la commune rurale de Guidimouni et les localités avoisinantes. Source majeure de revenus pour les populations riveraines, ce plan d'eau offre des opportunités multiples dans des secteurs clés tels que l'agriculture irriguée, la pêche artisanale, l'élevage, le commerce, le tourisme et l'habitat. Toutefois, ces fonctions vitales s'amenuisent face à la dégradation rapide du milieu, remettant en question le rôle central du lac dans la sécurité alimentaire, la stabilité économique

et la cohésion territoriale (Souley et Salifou, 2017). Dans un souci de compréhension systémique des dynamiques en jeu et de soutien à la prise de décision, cette étude mobilise le cadre analytique DPSIR (Forces motrices, Pressions, État, Impacts, Réponses). Ce modèle conceptuel permet une lecture intégrée des interactions entre facteurs naturels et anthropiques, en vue d'identifier les causes profondes des dysfonctionnements environnementaux, d'évaluer les risques associés et de proposer des réponses adaptées (Maxim et al., 2009). Appliqué au cas du lac Guidimouni, il constitue un outil opérationnel pour appuyer l'élaboration de stratégies de gestion durable, résilientes et fondées sur des données empiriques robustes.

1. Présentation du Lac de Guidimouni

Le lac de Guidimouni est situé au cœur de la zone sahélienne du Niger, dans une région soumise à un régime pluviométrique semi-aride, oscillant entre 300 et 400 mm de précipitations annuelles. Géographiquement, il se trouve à la latitude 13,6862° Nord et à la longitude 9,5087° Est (fig. 1), au sein de la commune rurale de Guidimouni, relevant du département de Damagaram-Takaya dans la région de Zinder. Le lac abrite une faune diversifiée (Anabi et al., 2024). La périphérie du lac est caractérisée par une diversité floristique notable, dominée par des espèces à haute valeur écologique et socio-économique (Souley et Salifou, 2017).

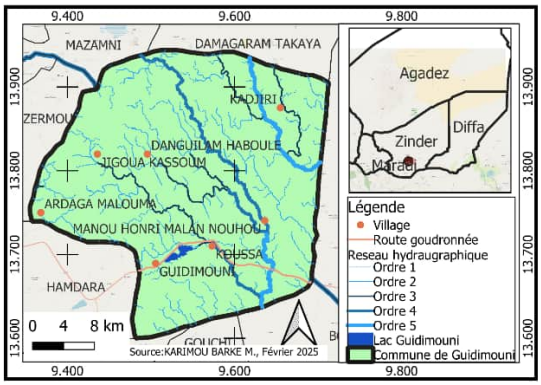


Figure 1. Carte de localisation du Lac de Guidimouni

Implanté dans une dépression, ce plan d'eau est alimenté de manière combinée par des résurgences d'eaux souterraines et par des apports de surface issus des précipitations et du ruissellement. Ce double système d'alimentation confère au lac une dynamique hydrologique particulière, à la fois fragile et essentielle pour les écosystèmes environnants.

Reconnaissant l'importance écologique, hydrologique et socio-économique de ce plan d'eau, le lac de Guidimouni a été classé site Ramsar d'importance internationale le 18 décembre 2019. Ce statut souligne sa contribution majeure à la conservation des zones humides, à la régulation du climat local, ainsi qu'au bien-être des communautés riveraines, fortement dépendantes de ses ressources pour leur subsistance et leur résilience face aux dérèglements du système climatique.

2. Méthodologie

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude repose sur une approche participative intégrée à une analyse spatiale multi-échelle, combinant les contributions des parties prenantes locales, l'outil conceptuel DPSIR, et les technologies de géomatique. Dans un premier temps, un atelier a été organisé avec les principaux usagers et acteurs concernés par la gestion du lac de Guidimouni (agriculteurs, pêcheurs, éleveurs, autorités locales, ONG environnementales, etc.). Cet atelier a été structuré autour du cadre conceptuel DPSIR (Forces motrices – Pressions – État – Impacts – Réponses), tel que proposé par Maxim et al. (2009). Ce modèle, largement reconnu dans les approches d'aide à la décision environnementale, permet d'analyser de manière systémique les interactions complexes entre les activités humaines et les dynamiques écologiques (Maxim et al., 2009). Au cours de l'atelier, les participants ont été guidés à travers une série de questionnements structurés visant à explorer chaque composante du modèle : (1) Quelles sont les forces motrices (économiques, sociales, culturelles) responsables des transformations observées dans l'écosystème du lac ? (2) Quelles pressions ces forces exercent-elles sur l'environnement (surexploitation, pollution, modifications hydrologiques, etc.) ? (3)

Quel est l'état actuel des ressources naturelles associées au lac (qualité de l'eau, couverture végétale, productivité des écosystèmes) ? (4) Quels sont les impacts identifiés sur la santé humaine, les moyens de subsistance, les fonctions écologiques ou le tissu socio-économique local ? (5) Quelles réponses techniques, institutionnelles ou politiques pourraient être envisagées pour atténuer ces impacts et restaurer les équilibres environnementaux ?

Ce cadre a permis de structurer les échanges, d'identifier les principales menaces pesant sur l'écosystème lacustre, et de co-construire des pistes de solutions adaptées au contexte local. La seconde phase de l'étude a consisté en une mission de terrain approfondie, centrée sur le lac et ses zones périphériques. Cette sortie avait pour objectif de trianguler et d'enrichir les informations issues de l'atelier. Des observations directes ont été menées, appuyées par des entretiens semi-directifs réalisés auprès des populations locales. Les zones affectées par les pressions et les impacts identifiés lors de l'atelier ont été géoréférencées à l'aide d'un GPS Garmin 64s, afin de disposer d'une base cartographique précise pour l'analyse spatiale. Enfin, la troisième étape a porté sur la production d'une carte d'occupation des sols et d'une carte de vulnérabilité écologique du lac. Une classification supervisée orientée-objet (Karimou et al., 2018) a été réalisée sur une image satellite Sentinel-2 acquise en octobre 2024. Cette classification a permis de discrétiser les principales unités paysagères et d'identifier les zones envahies par la végétation aquatique, en particulier *Typha australis*. La cartographie de la vulnérabilité repose sur l'évaluation de la densité de cette espèce envahissante au sein de chaque unité d'occupation du sol. Trois niveaux de vulnérabilité ont été définis pour mieux comprendre et gérer l'impact sur le lac : faible (densité de *Typha* < 25 %), modérée (densité entre 25 % et 75 %) et élevée (densité > 75 %). Les estimations de densité ont été obtenues par une combinaison d'observations visuelles sur le terrain et d'interprétations visuelles de l'image satellite. Cette cartographie constitue une base essentielle pour prioriser les interventions de restauration écologique et orienter les mesures de gestion durable du lac.

3. Résultats

3.1. *Analyse cadre DPSIR du Lac de Guidimouni*

L'analyse du cadre conceptuel DPSIR appliqué au lac de Guidimouni a mis en évidence une pression écologique croissante exercée par la prolifération des plantes semi-aquatiques, notamment *Typha australis* et *Phragmites australis* (fig. 2). Ces hélophytes vivaces, à croissance rapide et à densité végétative élevée, colonisent à la fois les zones littorales et les parties internes du plan d'eau. Leur développement anarchique engendre une série d'impacts négatifs sur l'équilibre écologique et les fonctions socio-économiques du lac. Les roseaux envahissants peuvent obstruer les voies navigables, entraver les activités de pêche, compromettre la qualité des eaux, perturber les cycles agricoles irrigués, et favoriser la stagnation de l'eau, ce qui accroît les risques sanitaires pour les populations riveraines (maladies vectorielles, zoonoses). Toutefois, selon les participants à l'atelier, ces formations végétales jouent également un rôle écologique non négligeable en fournissant des zones de refuge, de nidification et de reproduction pour la faune locale (poissons, amphibiens, oiseaux, reptiles), illustrant ainsi la nécessité d'une gestion équilibrée fondée sur des compromis écosystémiques.

En réponse à cette pression, la solution priorisée par les acteurs locaux est la promotion du faucardage, c'est-à-dire la coupe sélective et contrôlée de la biomasse végétale. Cette technique permet de réduire l'invasion tout en préservant les bénéfices écologiques des espèces concernées. De manière innovante, les participants ont également suggéré une valorisation économique de la biomasse fauchée, à travers diverses filières durables : fabrication de biogaz, production d'engrais vert, confection de matériaux de construction (palissades, toitures), alimentation animale, ou encore artisanat local (cordes, paniers, objets tressés). Il est également

rapporté que l'inflorescence du *Typha*, appelée aussi « chandelle », est parfois consommée par les populations. Par ailleurs, l'analyse du cadre DPSIR a permis d'identifier une seconde pression majeure : les inondations récurrentes, dues à la remontée du niveau de la nappe phréatique et à l'intensification des résurgences hydriques, exacerbées par les conditions climatiques extrêmes. Ces phénomènes hydrologiques sont fortement influencés par la géologie locale, la topographie et les propriétés physiques des sols. Les débordements du lit du lac affectent directement les terres agricoles situées en contrebas, provoquant la mort par

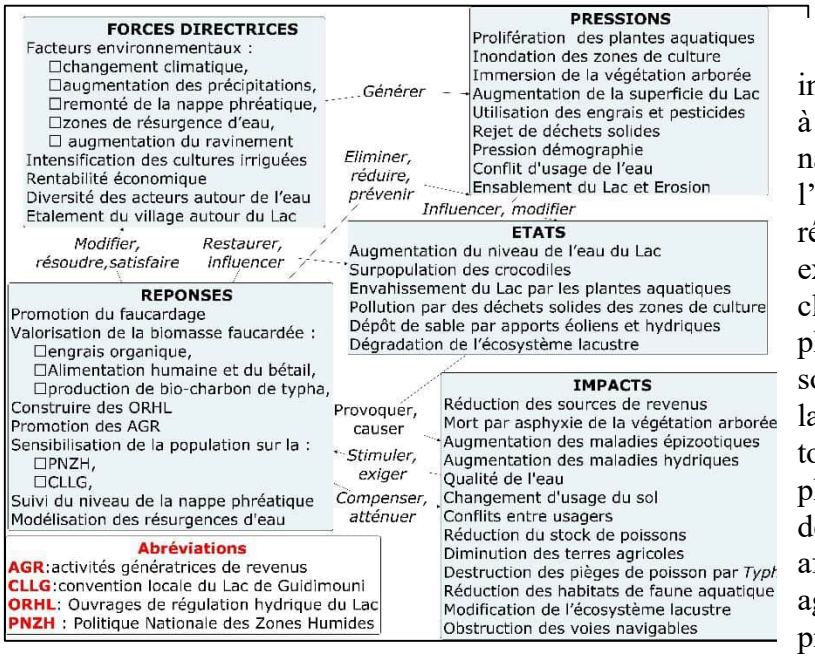


Figure 2. Description générale des indicateurs et cadre DPSIR du Lac de Guidimouni

asphyxie des arbres fruitiers et la colonisation des parcelles agricoles par des espèces végétales envahissantes, réduisant considérablement les superficies emblavées (Souley et Salifou, 2017; Tulbure et al., 2007). En outre, ces inondations favorisent l'ensablement progressif du lac, un phénomène aggravé par la déforestation des berges et l'exploitation anarchique des carrières d'extraction d'argile destinées à la fabrication de briques. Ce processus de dégradation physique du bassin versant compromet la régulation hydrologique naturelle et accélère la dynamique de comblement du lac. Face à ces constats, l'atelier participatif a permis de dégager plusieurs pistes d'action pour répondre aux pressions environnementales identifiées : (i) Modélisation des résurgences hydriques, afin d'identifier les zones à risque et d'élaborer des plans de gestion adaptés pour la prévention des inondations, (ii) Mise en place d'un système de suivi du niveau de la nappe phréatique, via l'installation de piézomètres. Ce dispositif permettrait de surveiller les fluctuations hydrologiques, anticiper les crues, et favoriser une gestion intégrée de l'eau, incluant le traitement préalable des eaux extraites avant leur réutilisation ou rejet, (iii) construction d'ouvrages de régulation hydrique (digues, barrages, bassins de rétention), particulièrement sur les rives occidentales du lac, en vue de restaurer les terres agricoles affectées et renforcer la résilience des communautés dépendantes des ressources du lac. L'ensemble de ces propositions constitue une base stratégique pour une gouvernance environnementale inclusive, intégrant à la fois les savoirs locaux, les données empiriques et les principes de gestion durable des zones humides sahéliennes.

3.2. Analyse des unités d'occupation des sols et de leurs vulnérabilités

L'analyse de l'occupation des sols dans la zone d'étude a permis de distinguer huit classes principales, comme représenté sur la figure 3a. Les cultures irriguées sont localisées sur les berges du lac (104,3 ha) et le long des talwegs à écoulement temporaire (146,2 ha). L'analyse de leur vulnérabilité vis-à-vis de *Typha australis* montre que 64,9 hectares de ces terres irriguées situées en bordure immédiate du lac présentent une vulnérabilité modérée, tandis que 185,6 hectares sont classés comme faiblement vulnérables à l'envahissement par cette espèce. Parmi les unités remarquables, les dunes vives, qui couvrent une superficie de 342,2 hectares,

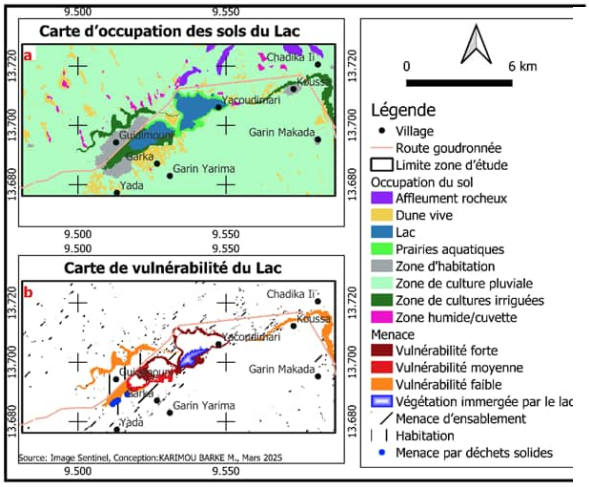


Figure 3 : 3a. Carte d'occupation des sols du Lac de Guidimouni, 3b. Carte de vunérabilté du Lac de Guidimouni

se présentent comme des surfaces totalement dépourvues de couverture végétale. Leur localisation, en majorité au sein des zones sableuses utilisées pour les cultures pluviales ou à proximité immédiate des habitats, des cuvettes et du lac, constitue un indicateur direct de la vulnérabilité du lac à l'ensablement. En effet, ces formations sont des vecteurs potentiels d'apports éoliens, provoquant une accumulation progressive de sédiments dans le plan d'eau. Ce phénomène, s'il n'est pas maîtrisé, est susceptible de réduire la capacité hydraulique du lac, d'en altérer la qualité écologique, et de perturber durablement sa biodiversité (fig. 3b).

Le plan d'eau du lac proprement dit est constitué de deux étendues principales d'eau stagnante et permanente, couvrant respectivement 83,6 ha et 131,0 ha, soit une superficie totale de 214,6 hectares. Toutefois, 32,5 hectares de cette surface sont actuellement occupés par des vergers submergés, en particulier des arbres fruitiers immergés à une profondeur dépassant 1 mètre (fig. 4). Cette immersion prolongée engendre des pertes agricoles importantes, une déstructuration des sols, une baisse de rendement à long terme, et une perturbation des chaînes de valeur locales. Selon les témoignages recueillis lors de l'enquête, cette inondation permanente rend également l'exploitation du natron impossible depuis plus de 20 ans, illustrant les impacts socio-économiques durables de cette dynamique hydrologique. En ce qui concerne la pression exercée par *Typha australis*, l'analyse révèle que 10,3 hectares du plan d'eau présentent une vulnérabilité forte, traduisant un envahissement significatif par cette plante aquatique envahissante. Sa prolifération rapide pourrait non seulement réduire la biodiversité aquatique, mais aussi limiter les activités économiques telles que la pêche, et complexifier la gestion hydrologique du lac (Tulbure et al., 2007).



Figure 4. Végétation immergée par le Lac

Une unité de prairie aquatique monospécifique, composée essentiellement de *Typha australis*, a été identifiée sur les rives occidentales du lac. Il s'agit d'une unité émergente, résultant d'un changement d'usage du sol : 77,2 hectares de terres anciennement destinées à l'agriculture irriguée ont été transformés en végétation semi-aquatique suite à l'envahissement progressif. Cette surface représente 42,5 % des zones irrigables situées en bordure du lac et est classée comme fortement vulnérable.

Les zones d'habitation, constituées d'ensembles d'habitats permanents, sont principalement localisées sur les crêtes dunaires à l'ouest et au sud du lac. Leur disposition forme une ceinture périphérique, marquant l'interface entre les milieux naturels et les espaces anthropisés. Toutefois, des dépôts de déchets solides ont été observés entre ces habitations et les zones de cultures irriguées. Le déversement de ces déchets non contrôlés dans les espaces agricoles engendre une série de risques : contamination des sols, altération de la fertilité, pollution de l'eau d'irrigation, risques sanitaires accrus, et nuisances esthétiques et écologiques.

Enfin, la zone d'étude est parsemée de cuvettes oasiennes, dépressions endoréiques caractérisées par un écoulement interne et une nappe phréatique sub-affleurante à affleurante. Ces unités offrent naturellement un microclimat favorable à la pratique de cultures irriguées en toutes saisons, en constituant un élément clé de la sécurité alimentaire locale et de la résilience agro-écologique dans un contexte sahélien marqué par la variabilité climatique.

Conclusion

L'application du cadre analytique DPSIR au lac de Guidimouni s'est révélée particulièrement pertinente pour appréhender, de manière systémique et intégrée, les interactions complexes entre les dynamiques anthropiques, les facteurs environnementaux et les réponses socio-écologiques. Ce modèle a permis non seulement d'identifier et de caractériser les principales pressions pesant sur l'écosystème lacustre – notamment la prolifération invasive de *Typha australis* – mais également d'en évaluer les impacts écologiques, économiques et sociaux, tout en coconstruisant avec les acteurs locaux des pistes de réponses opérationnelles, adaptées au contexte sahélien. L'envahissement rapide par cette plante aquatique constitue une menace majeure pour la fonctionnalité écologique du lac et la durabilité des usages agricoles, notamment en réduisant considérablement les superficies irrigables disponibles.

Toutefois, les résultats montrent que des stratégies de gestion fondées sur la nature, telles que le faucardage raisonné, offrent des solutions concrètes pour restaurer les terres agricoles dégradées, tout en permettant la valorisation durable de la biomasse produite. En perspective, il apparaît essentiel de renforcer la compréhension des dynamiques hydrogéologiques autour du lac. À ce titre, nous recommandons la mise en œuvre d'une modélisation fine des zones de résurgence d'eau, en intégrant les données topographiques, géologiques et climatiques. Une telle approche permettrait d'anticiper les risques d'inondation, de mieux planifier l'aménagement du territoire et de concevoir des stratégies de gestion intégrée et adaptative, à même de renforcer la résilience socio-écologique du bassin du lac Guidimouni face aux effets du changement climatique.

Bibliographie

Anabi T. A., et Chaibou M. N. B., 2024 : Caractérisation des faunes ichtyologique et aviaire du lac de Guidimouni dans le centre-est Nigérien. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **18**(1), 224-235.

Karimou B. M**.,** Tychon B., Ousseini I. et Ozer A., 2018 : Détection des cuvettes oasiennes du centre-est du Niger par classifications d'images satellite SPOT5-THX, *Revue Photo-Interprétation: European Journal of Applied Remote Sensing*, N° **4** /VOL. 51, pp32-48,78-84.

Karimou B.M., Ambouta K., Sarr B., Tychon B., 2015 : Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le Sud-Est du Niger. *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, **28**, 537-542

Maxim L., Spangenberg J. H., et O'Connor M., 2009: An analysis of risks for biodiversity under the DPSIR framework. *Ecological economics*, **69(**1), 12-23.

Ministère de l'Environnement de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable., 2018 : Politique Nationale de Gestion des Zones Humides, Rapport, Niger, 80p.

Souley S., et Salifou A., 2017 : L'exploitation du natron dans la cuvette de Guidimouni (Commune rurale de Guidimouni au Niger). *Annales de l'Université de Moundou, Serie A*, **3** (1), 33-50.

Tulbure, M. G., Johnston, C. A., et Auger, D. L., 2007: Rapid invasion of a Great Lakes coastal wetland by non-native Phragmites australis and Typha. *Journal of Great Lakes Research*, **33**, 269-279.

VALORISATION PARTICIPATIVE DES SOURCES D'EAU THERMALE A DANGBO FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Yéniko Césaire KODJO SONOU[1], Asai Akinni Gervais ATCHADE[2,4], Mathieu Maurice AHOUANSOU[3], Pierre OUASSA[4], Expédit Wilfried VISSIN[2,4]

[1]*Institut National de l'Eau, Bénin : INE/UAC, kodjosonouc@gmail.com*

[2]*Université d'Abomey-Calavi (Bénin) : DGAT/FASHS/UAC,*

[3]*Laboratoire d'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME),*

[4]*Laboratoire Pierre PAGNEY, Climats, Eaux, Écosystèmes et Développement (LACEEDE) 03 BP 1122 Cotonou (Bénin),*

***Résumé** : Cette étude vise à explorer les opportunités de valorisation socio-économique des eaux thermales de la commune de Dangbo à travers une approche participative, dans un contexte marqué par les extrêmes climatiques. L'analyse repose sur des enquêtes de terrain, des prélèvements d'eau, et une étude SWOT. Les résultats révèlent un usage très limité des eaux thermales malgré leur potentiel dans un environnement vulnérable aux sécheresses et inondations.*

***Mots Clés :** Commune de Dangbo, eau thermale, changement climatique, approche participative*

Abstract: Participatory valorisation of thermal springs in Dangbo in the face of climate change

This study aims to explore opportunities for socioeconomic development of thermal waters in the commune of Dangbo through a participatory approach, in a context marked by climate extremes. The analysis is based on field surveys, water sampling, and a SWOT analysis. The results reveal very limited use of thermal waters despite their potential, in an environment vulnerable to droughts and floods.

***Keywords:** Commune of Dangbo, thermal water, climate change, participatory approach*

Introduction

L'accès à l'eau et à l'assainissement est un problème majeur dans plusieurs pays du monde et en Afrique particulièrement. Au Bénin, seulement 53 % des ménages ont accès à l'eau en milieu rural à moins de 500 m et plus de 50 % n'ont pas d'accès aux toilettes améliorées malgré la disponibilité des ressources en eau et les efforts du gouvernement (UNICEF, 2022). Plusieurs facteurs justifient ce constat dont les extrêmes climatiques. La commune de Dangbo, située dans le Sud du Bénin, est fréquemment exposée aux risques hydroclimatiques qui impactent fortement la qualité et la quantité des ressources en eau. Le but de cette étude est de contribuer à la valorisation socioéconomique des sources d'eau thermale par une approche participative communautaire dans le contexte actuel des changements climatiques.

1. Secteur d'étude

La commune de Dangbo est située dans la partie sud-est de la République du Bénin et du département de l'Ouémé. Elle s'étend sur une superficie de 149 km² avec une densité de 443 hbts/km². Elle est limitée au Nord par la commune d'Adjohoun, au Sud par la Commune des Aguégués, à l'Est par la Commune d'Akpro-Missérété et à l'Ouest par la Commune de So-Ava (PCC Dangbo, 2024). La figure suivante présente la situation géographique du milieu d'étude.

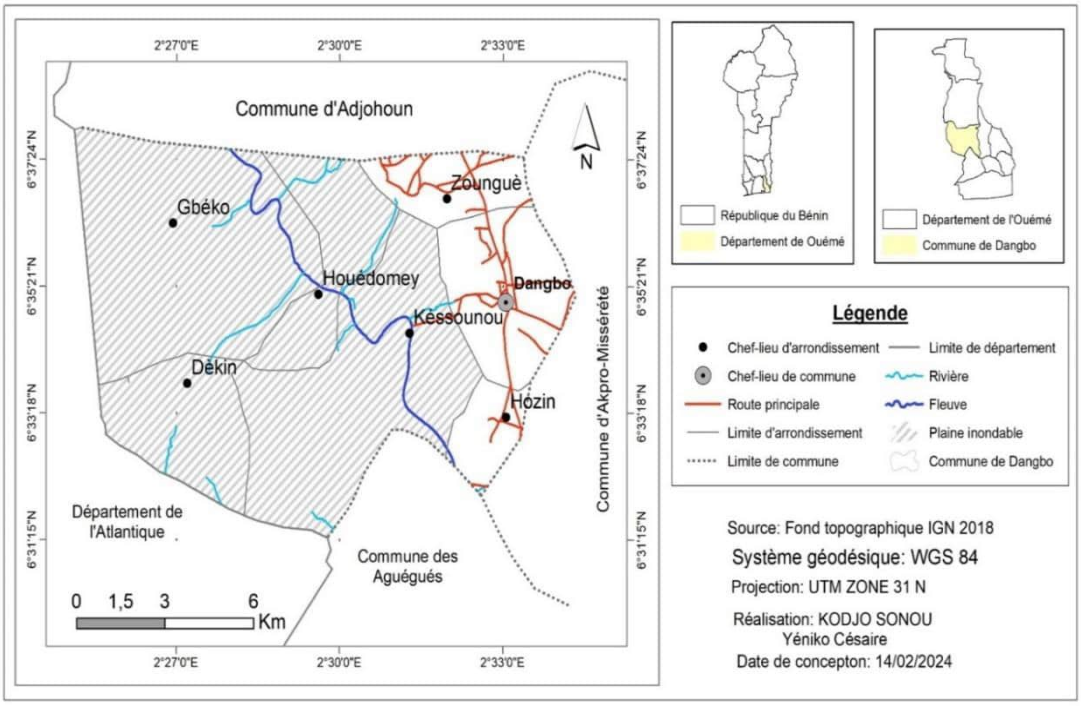


Figure 1: Situation géographique de la commune de Dangbo

La commune de Dangbo comporte du point de vue administratif Sept (07) Arrondissements qui sont : Dangbo centre, Dêkin, Gbèko, Hêtin-Houédomey, Hozin, Kessounou et Zounguè constituant Cinquante (50) villages et quartiers.

2. Données et méthodes

Les données climatologiques, hydrologiques, environnementales, socio-économiques, démographiques et physico-chimiques ont été utilisées provenant respectivement des bases de données de la météo-Bénin, de la Direction Générale de l'Eau et des travaux de terrain. Les données climatologiques et hydrologiques couvrent la période de 1981-2020 puis les données physico-chimiques et bactériologiques après analyses des échantillons au Laboratoire d'Hydrologique Appliqué de l'Institut National de l'Eau. Ces données ont été collectées grâce à la recherche documentaire et les travaux de terrain dans la commune de Dangbo. La démarche méthodologique a fait appel à la méthode des statistiques descriptives et inférentielle pour l'analyse des extrêmes climatiques, à la caractérisation des sources d'eau et d'assainissement ainsi qu'à la vulnérabilité du secteur WASH et à l'utilisation du modèle SWOT. La recherche documentaire a été faite sur les systèmes d'accès à l'eau et l'assainissement au Bénin, les changements climatiques et la gestion intégrée des ressources en eau suivant les stratégies nationales mises en place au Bénin et les études scientifiques menées autour de la thématique. Les travaux de terrains se sont déroulés en deux phases à savoir, une phase de pré-enquête encore appelée exploratoire du 15 au 18 octobre 2023 et une phase d'enquête proprement dite du vendredi 02 février au dimanche 15 mai 2024. L'enquête préliminaire effectuée a permis de recenser les sources d'eau principales existantes auxquelles la population s'approvisionne afin de faire des prélèvements pour des analyses au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée (LHA/UAC). Les travaux de terrain ont également permis de questionner 224 chefs de ménage dans les arrondissements de Dêkin, Gbéko, Hêtin-Houédomey et de Késsounou, les personnels de 12 écoles et de 4 centres de santé au sujet de l'accès à l'eau et à l'assainissement, la vulnérabilité aux extrêmes climatiques et la connaissance des eaux thermales et leur potentialité.

La taille de l'échantillon a été déterminée suivant la formule de SCHWARTZ (2002). Ainsi, elle a été calculée avec un degré de confiance de 95 % soit une marge d'erreur de plus ou moins 5 %.

$$N = Z\alpha^2 PQ / d^2$$

Avec :

N= taille de l'échantillon par arrondissement

Zα = écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95 %

P = nombre de ménages de l'arrondissement / nombre ménages de la Commune.

d = marge d'erreur qui est égale à 5 %

$$Q = 1 - P$$

En procédant ainsi par commune, un taux d'échantillonnage de 30 % est appliqué au résultat pour déterminer le nombre exact de ménages à enquêter par arrondissement.

3. Résultats et discussion

3.1. Etat des lieux des systèmes d'approvisionnements en eau dans la commune de Dangbo

Les travaux d'enquêtes de terrain et des observations ont permis d'identifier plusieurs sources d'approvisionnements dans le secteur d'étude. Il s'agit notamment des forages, des puits, des eaux de surfaces, des eaux de pluie. Bien que, les eaux de surfaces soient de qualité douteuse, à la limite impropre à la consommation humaine suites aux contaminations directes et indirectes pendant ou après les périodes d'inondations et de sécheresse, certaines populations y font parfois recours pour la boisson et autres usages domestiques. 50 % des populations vivantes dans la plaine inondable de Dangbo que regorge les arrondissements de Kessounou, de Hêtin, de Dêkin, et de Gbéko ignorent les risques et s'expriment ainsi : « *on ne lave pas l'eau, l'eau coule et se renouvèle ; notre organisme est adapté* ou *encore, cette eau nous procure la bonne santé ».* Les photos suivantes présentent les eaux de surfaces utilisées par la population pour s'approvisionner dans l'arrondissement de Dêkin.



Planche 1. Prélèvement de l'eau de la rivière à Dêkin

Prise de Vue : KODJO SONOU, mars 2024

Ces différentes photos montrent l'usage des eaux de la rivière Nimblido dans l'arrondissement de Dêkin où le problème d'accès à l'eau est vraiment de grande ampleur pendant les périodes de sècheresse. Ces eaux de surfaces et de puits consommées régulièrement à défaut de l'eau potable subissent les effets des extrêmes climatiques.

3.2. Extrêmes climatiques et vulnérabilité des systèmes d'approvisionnement en eau potable dans la commune de Dangbo

Les phénomènes climatiques qui se manifestent dans la commune de Dangbo sont notamment les risques d'inondation et de sècheresse en fonction des saisons suivant la variabilité du climat dans la commune de Dangbo.

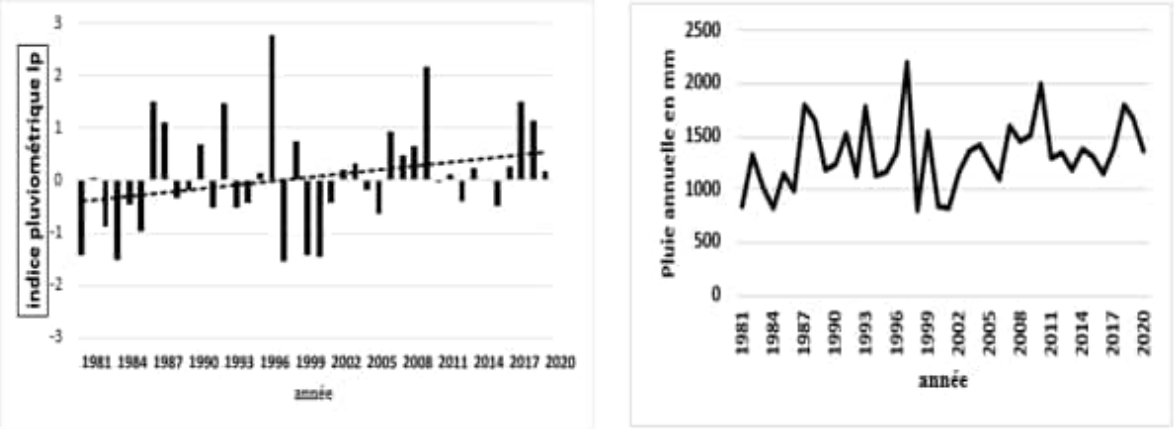


Figure 2. Variabilité interannuelle des pluies et évolution annuelle des pluies

De l'analyse de cette figure, il est à noter que la variation pluviométrique correspondant aux périodes sèches prolongées ou aux périodes humides qui déterminent la probabilité d'apparition des évènements extrêmes affecte les systèmes d'approvisionnement en eau dans la commune de Dangbo. Les photos suivantes montrent l'exposition des points d'eau dans le secteur d'étude.



Planche 2. Exposition des points d'eaux aux risques d'inondations et de sécheresses dans la commune de Dangbo.

***Prise de Vue** : KODJO SONOU, mars 2024*

Les photos de la planche 2 montrent l'exposition points d'eaux aux extrêmes climatiques en occurrence les inondations et les sécheresses. Il ressort de l'analyse de ces photos que pendant les périodes sèches, les puits s'assèchent et rends l'accès à l'eau difficile aux femmes de la communauté de même que les inondations qui favorisent le développement de plusieurs risques sanitaires liés à l'eau par des contaminations confirmant ainsi les directives de la qualité de l'eau de boisson de l'OMS en 2017 qui affirme que sur une période prolongée, un changement climatique peut entraîner des phénomènes météorologiques extrêmes plus marqués, notamment des phases plus fréquentes et plus longues avec des pics de température plus élevée, des sécheresses, une plus grande fréquence de fortes précipitations et de tempêtes violentes ayant un impact sur la qualité des ressources en eau. Les analyses bactériologiques effectuées sur différentes sources d'eau dans la zone d'étude montrent que tous les paramètres étudiés sont fortement en contradiction des normes permises par l'OMS à l'exception unique *des Germes*

banals ou autochtones sur les eaux de pluie, des AEV et de puits dans l'arrondissement de Dêkin. Ces germes fécaux polluent essentiellement grâce à la contamination des matières organiques de sangs chauds et pourraient donc être révélés d'une mauvaise pratique d'hygiène et d'assainissement autour de ces points d'eau en période sèche comme en période humide selon les précisions faites par les travaux de G. Atchadé, 2014.

L'analyse SWOT révèle que la commune de Dangbo, dispose d'une forte potentialité des ressources en eau superficielle, souterraine et thermale mais le manque de suivi et de maintenance des infrastructures d'approvisionnement en eau potable existantes ainsi que la manifestation des extrêmes climatiques rendent difficile l'accès à l'eau potable tandis que les opportunités d'usages et de valorisations des eaux thermales sont limitées et sont moins connues dans toute la commune.

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que le système actuel d'accès à l'eau potable dans la zone d'étude est défaillant obligeant ainsi 65 % des populations à s'approvisionner qu'en eau de surface et des puits malgré les risques de pollution quotidienne alors qu'il existe une forte potentialité des ressources en eau thermale pouvant servir la communauté en alimentation saine de l'eau , en écotourisme et même en énergie électrique si cette ressource est bien réfléchie et travaillée par des politiques locales et des projets communautaires comme le montre les photos suivantes :





Planche 3. Source d'eau thermale de Hêtin-Sotâ (3.1) et de Gbéko (3.2)

Prise de vue : KODJO SONOU, février 2024

Cette planche montre l'existence des ressources en eau thermale dans la commune de Dangbo. Selon les données collectées en focus group sur la photo 3.1, cette eau est née le 05 juillet 1956 et a été creusée par les colons à plus de 450 m. Elle contient beaucoup de minéraux et de matière thérapeutiques, toujours chaude à l'ébullition de 83°C dès la détection depuis les années 1956 mais chutée à 52°C depuis 2021. Aussi, cette eau est capable d'alimenter la communauté de Dangbo en énergie électrique, d'être une source thérapeutique et constituer un site touristique si des projets structurés sont développés en commun accord avec la communauté locale et les autorités communales. Les travaux de Guillaume Pfund sur les eaux thermo-minérale affirment que les avantages que peuvent offrir ce type de ressource en eau sont multiples : vertu médicale, alimentaire, énergie thermique dans différents domaines tels : santé et bien-être, industrie et agriculture, ou usage domestique (Guillaume Pfund 2017).

Par ailleurs, les eaux thermales pourraient êtres exposées et contaminées perdant ses qualités bactériologiques et ses potentialités dans la vallée de l'Ouéme et au Bénin si des mesures nécessaires ne sont pas prises pour une valorisation socio-économique et durable dans ce contexte actuel de précarité d'accès à l'eau potable en milieu rural et des extrêmes climatiques (Capo-Chichi, 2012).

Conclusion

Les résultats de cette étude mettent en évidence les potentialités des ressources en eau thermale en réponses aux changements climatiques qui impactent les ressources en eau ordinaires. Les valeurs économiques, sociales, thérapeutiques, énergétiques et touristiques que cachent ces ressources méritent une politique de gestion participative pour un développement durable et rassuré. Il est donc important que les autorités locales, les partenaires au développement et les ONG priorisent la valorisation des sources d'eau thermale dans des communautés rurales à fort besoin en eau potable et en énergie à travers des projets et des activités de sensibilisations pour l'hygiènes autour des points d'eau thermale.

Pour mieux apprécier la qualité des eaux thermales et son cheminement dans le sous-sol, des études prochaines se concentreront sur l'analyse géothermique et bactériologique des eaux thermales de la commune de Dangbo.

Bibliographie

Adjibi M., 2023 **:** Problématique d'Accès à l'Eau Potable aux Seins des Ménages dans la Commune de Dangbo INE/UAC 58pages ;

Atchadé A.A., 2014 **:** Impacts de la dynamique du climat et de l'occupation des terres sur les ressources en eau du bassin versant de la rivière zou dans le benin meridional ; doctorat uac/flash/fast 235pages ;

Capo-Chichi B., 2012 : des sources d'eaux thermales béninoises, Porto Novo, Bénin, 3pages ;

Kodjo Sonou Y.C, 2022 **:** Vulnérabilité et résilience des agriculteurs faces aux inondations dues aux crues dans la commune de Dangbo INE/UAC 64pages ;

Kodjo Sonou Y.C, 2024 : Résilience et vulnérabilité socio-économique aux risques d'inondations dans la commune de Dangbo, AIC, Paris 104 pages ;

Ndengue G. D., (2016) : Évaluation de la mise en œuvre du concept WASH (Water Sanitation and Hygiene) en Milieu scolaire : Cas de quelques lycées de la Ville de Yaoundé, 83pages.

Ouassa P., 2019 : Caractérisation des risques hydroclimatique dans la Basse ballée de l'Ouémé Au Benin UAC/IGATE/MIRD 97 pages ;

Pfund G. 2017 : Eaux thermo-minérales, usages et enjeux de développement industriel et touristique – les sites à multi usage en France et en Belgique, ASRDLF, Clermont-Ferrand, France 8pages ;

Unicef Bénin, (2022) : Rapport d'étude sur le WASH au Bénin 6pages.

INFLUENCE DU CONTEXTE CLIMATIQUE SUR L'ACCÈS À L'EAU POTABLE DANS LE DÉPARTEMENT D'ODIENNÉ (NORD-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE)

Karnon KONE[1], Doutin Serge DJE Bi [2] et Nambégué SORO [3]

Enseignant-Chercheur à l'Université Alassane Ouattara, Bouaké-Côte d'Ivoire, **Email :** *nonlakone91@gmail.com*

Enseignant-Chercheur à l'Université Alassane Ouattara, Bouaké-Côte d'Ivoire, **Email :** *doutinserge92@gmail.com*

Enseignant-Chercheur à l'Université Alassane Ouattara, Bouaké-Côte d'Ivoire, **Email :** *nambeguesoro@yahoo.fr*

Résumé *: Le département d'Odienné est situé dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire, sous un microclimat connait des variations momentanées. Cette situation accentue le tarissement des sources d'approvisionnement en eau telles que les puits et les eaux de surfaces. À ces périodes de baisse aigue des hauteurs de pluie , il est difficile de répondre convenablement aux exigences de la population. Cette étude vise à analyser l'impact du climat actuel sur la disponibilité de l'eau dans le département d'Odienné. Pour ce faire, des données climatiques, hydrauliques, d'images satellitaires et des enquêtes de terrain ont été recueilli. À partir, de la méthode de Nicholson et l'analyse multicritère les données recueillies ont été analysés. Les résultats ont montré une reprise de la pluviométrie avec un gain de 323,78 mm (2018-2022). Une régression des superficies des cours d'eau, cas du lac Badjala de 2,34 ha entre 2013 et 2022 et les nappes souterraines comme une alternative.*

Mots clés *: Département d'Odienné, climatique, disponibilité, eau potable*

Abstract: *The department of Odienné is located in the northwest of Ivory Coast, under a microclimate experiencing momentary variations. This situation accentuates the depletion of water supply sources such as wells and surface water. During periods of acute rainfall decline, it is difficult to adequately meet the demands of the population. This study aims to analyze the impact of the current climate on water availability in the department of Odienné. To do this, climatic, hydraulic, satellite imagery, and field survey data were collected. Using Nicholson's method and multi-criteria analysis, the collected data were analyzed. The results showed a resumption of rainfall with a gain of 323.78 mm (2018-2022). A regression of the surface areas of watercourses, as in the case of Lake Badjala with a loss of 2.34 ha between 2013 and 2022, and groundwater as an alternative.*

Keywords: Odienné Department, climate, availability, drinking water

Introduction

La Côte d'Ivoire, à l'instar des autres pays africains, connait de véritables problèmes d'approvisionnement en eau face au réchauffement climatique. Selon une étude menée par l'UNICEF en 2008, 20% de la population ivoirienne soit plus de 4 millions de personnes boivent encore de l'eau provenant de sources non améliorées (DJAKO A. et *al*, 2018, p202). Cette situation affecte surtout la partie nord du pays où la pluviométrie reste moins abondante.

Le département d'Odienné situé dans cette partie nord du pays ne fait pas exception. Le manque d'eau y est fortement ressenti, mais il se présente avec acuité dans les localités rurales. Face aux effets du changement climatique et la croissance exponentielle de sa population (de 91.691 habitants en 2014 à 156.730 habitants selon le RGPH 2021), l'eau s'y présente aujourd'hui comme de l'or. Cette ressource qui ne peut être amputée de la vie de l'homme devient de plus en plus rare et difficile d'accès pour les populations d'Odienné.

À cet effet, les thématiques de l'accès à l'eau inquiètent et constituent l'un des défis majeurs pour nos gouvernements, des organisations nationales et internationales, de plusieurs structures et associations internationales. En effet, l'État ivoirien fut l'un des premiers à inscrire la question de l'approvisionnement en eau comme l'un des axes de ses plans d'action de développement (YAO B. S., 2021, p15). Beaucoup d'efforts ont été faits par l'État pour résorber le déficit en eau potable dans la zone savanicole en particulier en y aménageant à partir des années 1980 plus de 300 petits barrages à vocation agropastorale (KOUASSI Y. D., 2014, p21). Il est

intéressant de noter qu'avant cette action, l'État a initié en 1973 le Programme National d'Hydraulique Humaine (PNHH). Ce programme a permis d'aboutit en 1985 à la réalisation de plus de 12000 ouvrages de captage dans près de 8000 villages à l'échelle des milieux urbains et ruraux. Aussi, l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) créée par le décret 2006-274 du 23 août 2006 a pour objectif d'apporter son assistance à l'État et aux collectivités territoriales afin d'assurer l'accès à l'eau potable à l'ensemble de la population. Elle a en effet effectué plusieurs travaux, dont la réalisation de forages, installation et équipement de laboratoire d'eau potable, renforcement de réseaux d'eau potable. Le ministère de l'hydraulique a en outre procédé à la construction de château d'eau dans plusieurs localités comme fut le cas du village de Touroni en 2022. À travers les travaux de réalisation hydraulique dénommés « le projet des 12 villes », l'État envisage mettre à la disposition des populations d'Odienné des ouvrages dont l'achèvement permettra d'améliorer les conditions d'accès à l'eau. Un taux de desserte en eau urbaine de 73% a été accompli grâce aux mesures entreprises par l'État**.** En dépit de toutes ces actions menées par l'État ivoirien et les organisations, les populations accèdent difficilement à l'eau.

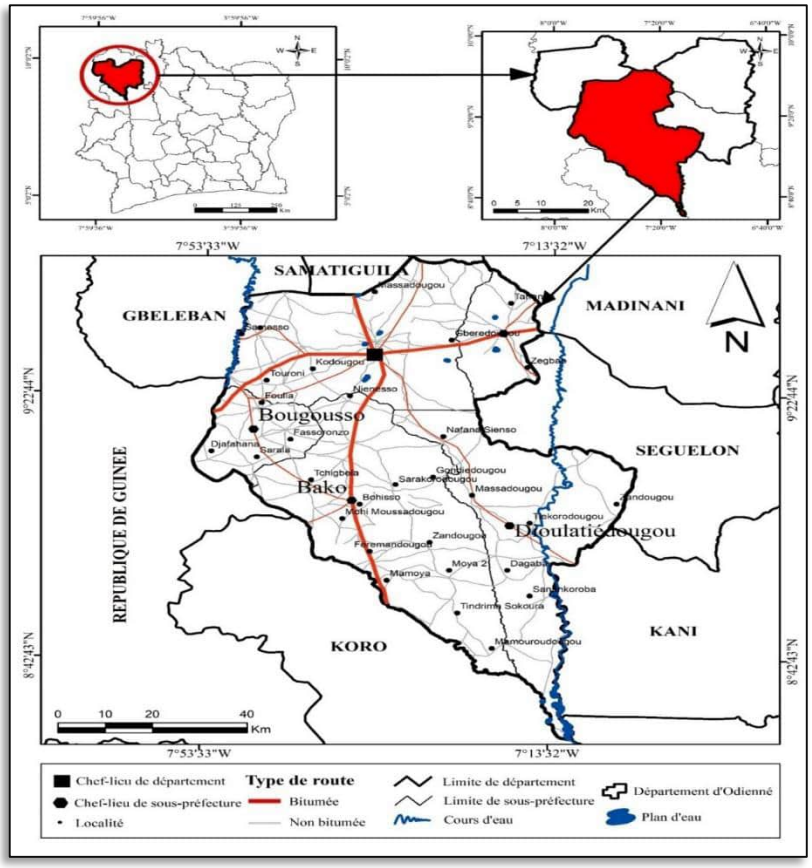


Figure 1. Localisation du département d'Odienné

1. Matériel et méthodes

1.1. Matériel

Cette étude a nécessité l'utilisation de l'image SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission)* de résolution 30 m sur le site Web USGS, des données pluviométriques satellitaires (1983 – 2022) via NASApowerlac et les superficies du lac d'adduction en eau potable de la ville d'Odienné à la SODECI (*Société de Distribution d'eau en Côte d'Ivoire*). Un questionnaire a été adressé aux responsables de la SODECI et des enquêtes de terrain par des prises de vue ont été nécessaire.

1.2. Méthodes

- **Les variables centrées réduites : indice de Nicholson**

Les variables centrées réduites ont été utilisé dans plusieurs étude pour sa simplicité à cause des données et la détection des périodes évolutives de la pluviométrie (F. Kanohin et al, 2009, p. 213 ; J. A. N'guessan, 2015, p. 40 ; K. Kone et *al,* 2022, p. 26). L'équation est la suivante :

$$Li=\left(\frac{X_i - X}{\sigma}\right)$$

Avec : **Li** : Indice pluviométrique (ou indice de débit) ; **X i** : Hauteur de pluie en mm (ou débit en m^3 /s) de l'année i ; **X** : Hauteur de pluie en mm moyenne (ou débit en m^3 /s) sur la période d'étude ; **σ** : Écart type de la hauteur de pluie (ou débit) sur la période d'étude.

- **Indicateur de disponibilité**

L'indicateur de la disponibilité en eau s'est traduit par une cartographie de l'eau souterraine et l'évolution de la superficie du lac Badjala de 1985 à 2022. Cette cartographie regroupe les critères de pente, de densité de drainage et d'infiltration (M. Youan Ta, et al, 2011, p. 50). La carte de pente et de densité de drainage sont extraites du logiciel QGIS selon des algorithmes à partir de l'image SRTM. Quant à l'infiltration, le calcul répond à l'équation suivante :

$$Inf = P - (ETR + Lr)$$

Avec : Inf est l'infiltration (mm) ; P est précipitation (mm) ; ETR est l'évapotranspiration réelle.

2. Résultats

2.1. Une variabilité pluviométrique marquée par une reprise depuis 2018

L'évolution moyenne interannuelle de la pluviométrie dans le département d'Odienné est caractérisée par 1105,91 mm et un écart-type de 273,20 mm (1983-2022). Cependant, l'indice de Nicholson montre des perturbations pluviométriques par des alternances d'épisode humide et sèche (Figure 1).

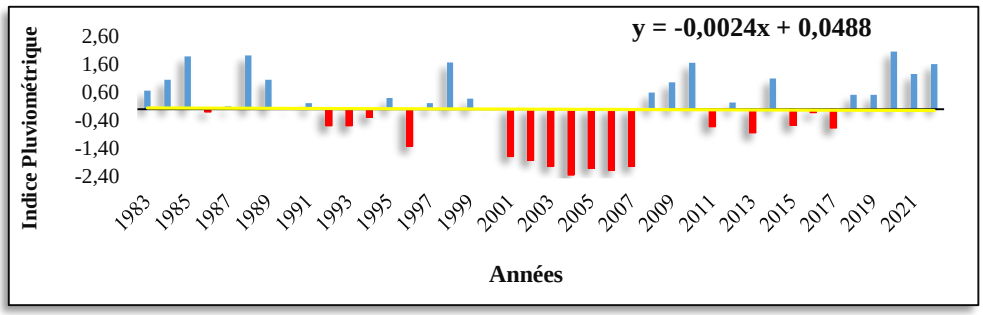


Figure 1. Évolution de l'indice pluviométrique interannuelle

Source : NASAPowerlac, 2024

Il ressort de la figure 1 une variation marquée grossièrement par deux périodes humides et une période sèche. De 1983 à 1991, la première phase humide enregistre un excédent de 209,19 mm suivie d'une longue série sèche de 1992 à 2017 (25 ans) avec un déficit de 133,52 mm et une reprise d'épisode humide de 2018 à 2022 avec un excédent de 323,78 mm. Par ailleurs, des sauts de période humide sont intervenues pendant la phase sèche entre 1997-2000 et 2008-2010.

2.2. Des ressources en eau à la baisse : Cas du lac Badjala qui alimente la ville d'Odienné

Les perturbations pluviométriques observées dans le département d'Odienné ont eu des répercutions sur les cours d'eau plus précisément le lac de Badjala. La SODECI utilise cette eau pour desservie la population de la ville d'Odienné en eau potable. Sa superficie est en régression depuis 1985 (Figure 2).

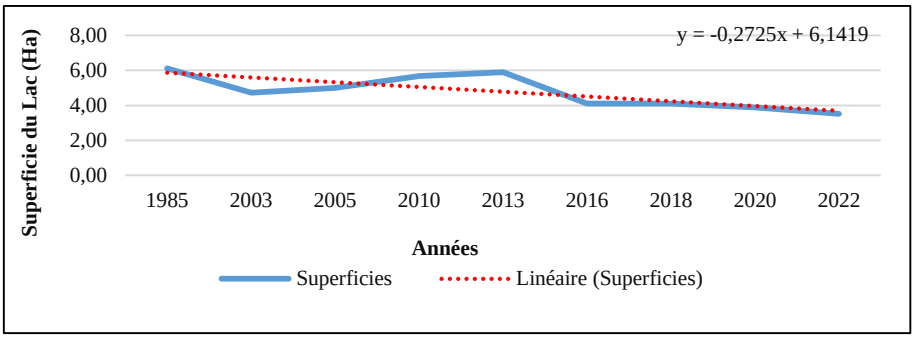
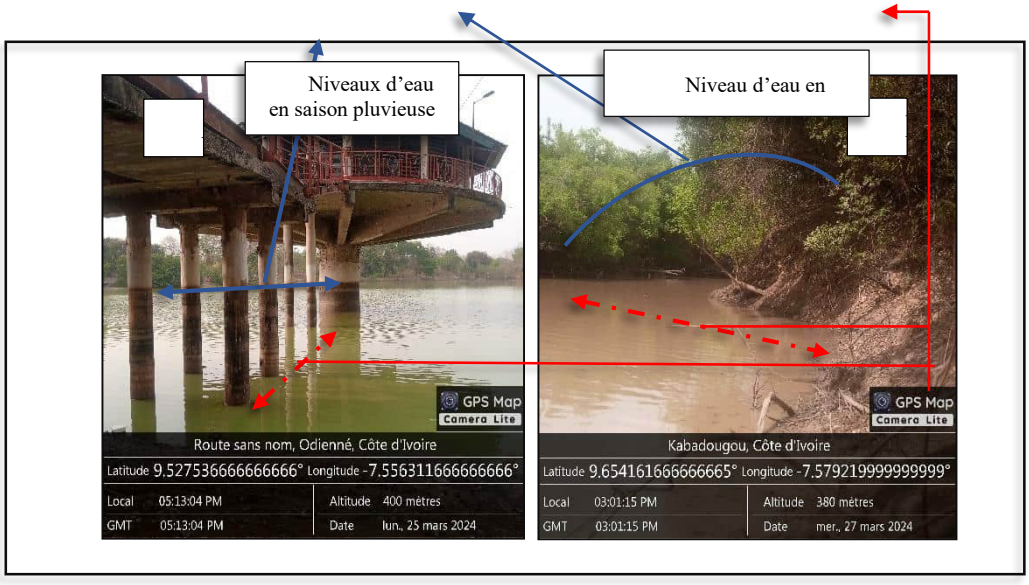


Figure 2. Évolution surfacique du Lac Badjala de 1985 à 2022

Source : SODECI, 2023

L'analyse de la figure met en évidence trois phases d'évolution surfacique du lac Badjala de 1985 à 2022. Elle s'est d'abord caractérisée de 1985 à 2003 par une baisse de 1,39 ha. Ensuite, un regain de sa superficie avec une hause de 1,16 ha entre 2003 et 2013. Enfin, avec une repise de la saison humide à partir de 2018, une baisse aigue de 2,34 ha a été enregistré de 2013 à 2022. L'observation générale montre une tendance à la baisse avec un coefficient de régression de -0,27. Cette baisse marquante de la superficie du lac et par ricochet le volume d'eau pose avec acuité les besoins en eau des populations (La planche de photo 1).



Source : Nos enquêtes, 2024

Planche 1 : Niveaux d'eau selon les saisons du Lac Savané et du Baoulé

Ces photos mettent en lumière le lien entre les conditions climatiques et les cours d'eau du département. Ces variations saisonnières réduisent considérablement le volume de l'eau. Pendant la saison sèche, le lit des cours se rétrécissent et cela met en difficulté le captage d'eau pour une bonne distribution en eau.

2.3. Des populations de plus en plus orientées vers une eau souterraine moyennement disponible

La forte diminution des eaux de surface engendre crée un engouement vers les nappes souterraines. Des forages sont installés pour atténuer les effets des épisodes sèches. La cartographie de la disponibilité en eau reste capitale pour orienter les futurs forages. La classe à disponibilité mauvaise représente 20 % de la superficie du département, soit 1218,98 km². La classe à disponibilité médiocre se localise au centre avec 1097,08 km², soit 18 %. Dans ce type de milieu, des méthodes minutieuses sont à entreprendre pour détecter des fractures productives. La classe à bonne disponibilité représente la plus grande superficie de la zone d'étude, 2072,28 km² soit 34 %. Elle se localise dans les localités comme Touroni, Fassoronzo, Zandougou, Sanankoroba. Enfin, la classe à excellente disponibilité occupe 28 %, c'est-à-dire une superficie de 1708,58 km². Elle se localise principalement au nord-ouest et au sud-est à Samesso, Foulla, Bougousso, Férémandougou. Mamouroudougou. Ces zones densément fracturées favorisent l'infiltration. En somme, le département d'Odienné présente une disponibilité de bonne à excellente de 62 %. Par conséquent, l'eau souterraine est moyennement disponible dans le département d'Odienné.

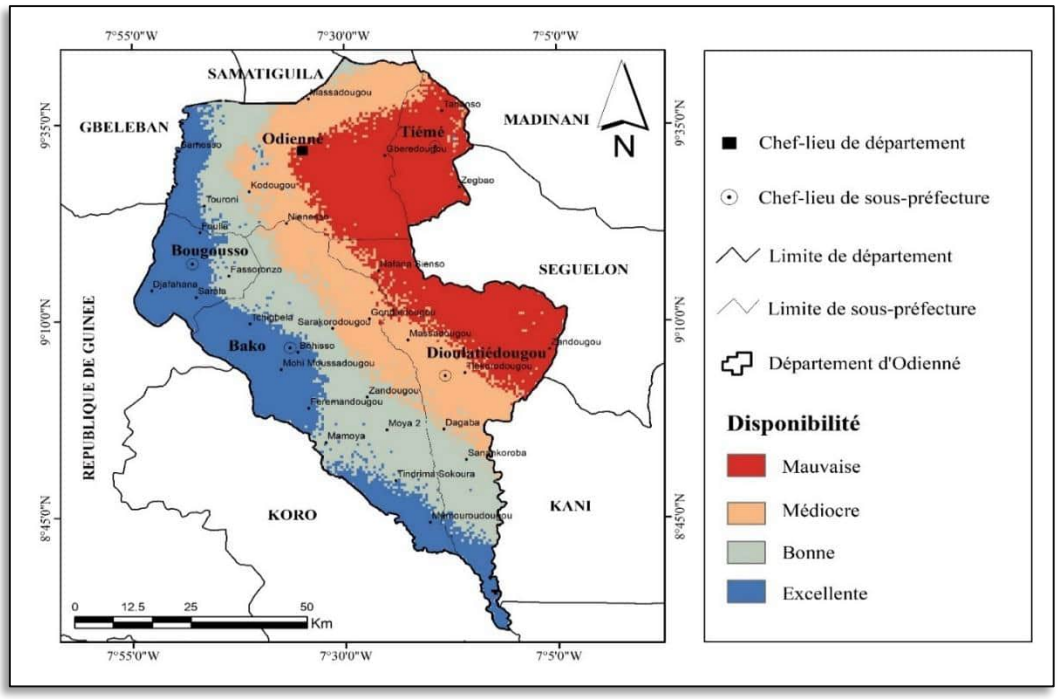


Figure 2. Disponibilité des ressources en eau souterraine

Discussion

L'analyse de la série chronologique 1983-2022 de la pluviométrie a révélé l'existence d'une tendance à la baisse. Des conclusions similaires ont été obtenues dans d'autres études comme celle de AHOUE K., H. (2018, pp65-67). À l'aide des tests de Petitt, de Buishand et de Mann-Kendall, il fait remarquer une baisse de la pluviométrie du département de Korhogo entre les années 1950 et 2015. Ces résultats sont corroborés par les travaux de KONE K., (2022, p.101), qui ont mis en évidence une tendance générale est à la baisse à Boundiali et à Tengrela à travers l'indice de Nicholson. Ce même constat est fait par KOUAME N., M., (2018, p47). Les résultats de son étude mettent en exergue une régression des quantités de pluie dans le département de Toumodi sur la période 1977-2016. Par contre KOUADIO N., Y., C., (2019, p39), dans son étude sur la commune de Grand-Lahou montre une tendance pluviométrique à la hausse pendant la période de 1988 à 2018. On observe une tendance à la baisse niveau du lac surtout de 2013

à 2022. Ces résultats de nos enquêtes correspondent à ceux de KONE K., (2022, p278), lorsqu'il affirme que le principal cours d'eau de la région de la Bagoué tarit presque en saison de sècheresse. Le même constat est fait par SEKONGO F. V., (2021, p119), dans le département d'Attiégouakro où il met en exergue l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau souterraines. En d'autres termes, il affirme que la faible quantité des précipitations en saison sèche provoque le tarissement de certains forages du département. Nos résultats concordent avec celui de MARSILY D. G, (2013, p.25) qui affirme dans son étude qu'il existe une grande disparité dans la répartition des précipitations et dans les conditions de ruissèlement. Cette situation accentue véritablement les problèmes liés à la pénurie d'eau et à sa gestion en Afrique. L'eau souterraine est moyennement disponible dans le département d'Odienné. Ce résultat s'oppose à celui de KONE.K (2022, p.237) qui estime que la région de la Bagoué offre une faible potentialité en eau souterraine puisque les zones à potentialité bonne et excellente couvrent 47,41 % du territoire.

Conclusion

Les incidences du changement climatique dans le département d'Odienné se manifeste par l'assèchement des ressources en eau. Cette situation fait que les ressources en eau sont suffisantes pour une bonne alimentation en eau de surface. C'est pourquoi, la majorité des personnes s'orientent vers les eaux souterraines qui représente 62% du territoire.

Bibliographie

Ahoue K. H., 2018, *Variabilité pluviométrique et perspective de la culture du mil et du sorgho dans le département de Korhogo*, Mémoire de master, Université Alassane Ouattara de Bouaké, 78p.

N'guessan J. A., Yoboue K. B. Et N'daoule R., 2015, « la variabilite pluviometrique et ses impacts sur l'alimentation en eau des milieux ruraux du departement de dimbokro (centre-est de la cote d'ivoire) », in *European Scientific Journal* December 2015 edition vol.11, No.35 ISSN: 1857 – 788, pp 36-57.

Kanohin F., Saley M. B. Et Savane I., 2009, « Impacts de la Variabilite Climatique Sur Les Ressources en Eau et Les Activites Humaines en Zone Tropicale Humide: Cas de la Région de Daoukro en Côte D'ivoire », in *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X Vol.26 No.2, pp.209-222.

Kone K., 2021, *Étude par télédétection et SIG de la disponibilité en eau potable du socle cristallin de la région de la Bagoué (Côte d'Ivoire)*, Thèse de doctorat unique, Université Alassane Ouattara, pp 386p.

Kouadio N. Y. C., 2019, *L'apport de la télédétection dans la détermination des impacts du réchauffement climatique et de la dynamique de l'environnement côtier dans la commune de Grand-Lahou*, Mémoire de Master, Université Alassane Ouattara de Bouaké, 112p.

Kouame N. M., 2018, *Dynamique du climat et mutations agricoles dans le département de Toumodi, Mémoire de master*, Université Alassane Ouattara de Bouaké, 131p.

Marsily De G., 2013, *Les problèmes d'eau en 26 questions*, Livret sur l'environnement, 31p.

Sekongo F. V., 2021, *Étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau souterraine dans le département d'attiégouakro (sud-centre de la Côte d'Ivoire)*, Mémoire de Master, Université Alassane Ouattara, 150p.

Youan Ta M., Theophile L., Jean P. J., Mahaman B. S., Germain A. M., Kan K., Jean B., 2011, « Cartographie des eaux souterraines en milieu fissuré par analyse multicritère. Cas de Bondoukou (Côte-d´Ivoire) » Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT) Université de Cocody, 22 BP 801, Abidjan 22, Côte-d'Ivoire youanta@yahoo.fr, in *Revue internationale de géomatique* ; pp 43-71.

IDENTIFICATION DES ZONES DE RETENTION EN EAUX DE SURFACE A L'ECHELLE DU BASSIN DE BETEROU (AU NORD DU BENIN)

Ayeto Lucie KOUDERIN[1], Renaud Jean-Eudes Tundé MITCHOZOUNOU*[2], Ringo Fernand AVAHOUNLIN [3], Tchihoundro Gilbert DANHOSSOU [4], Expédit Wilfrid VISSIN [5]

[1]*Chaire Internationale de Physique Mathématiques et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, UAC, REP. DU BENIN), luciekouderin@gmail.com*

[2]*Chaire Internationale de Physique Mathématiques et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, UAC, REP. DU BENIN), renaudmitchozounou@gmail.com*

[3]*Universite Nationale des Sciences, Technologies et Ingénierie Mathématiques (UNSTIM), d2ringofernand@gmail.com*

[4]*Chaire Internationale de Physique Mathématiques et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, UAC, REP. DU BENIN)*, danhossougilbert@gmail.com

[5]*Département de Géographie et d'Aménagement du Territoire (DGAT, FASHS, UAC), exlaure@gmail.com*

*****Auteur correspondant : renaudmitchozounou@gmail.com*

Résumé : *L'objectif de cette étude est d'identifier les zones favorables à la rétention de l'eau de surface pour l'agriculture à l'échelle du bassin versant de l'Ouémé à Bétérou. La démarche méthodologique a consisté au traitement d'image Sentinel et de MNT. La reclassification et la combinaison des facteurs déterminant la rétention en eau de surface (Altitude, Pente et Densité de drainage) ont permis de dresser la carte des zones potentielles à la rétention des eaux de surface. Les résultats cartographiques nous ont permis d'identifier quatre (04) classes à l'échelle du bassin versant. Les zones de mauvaise et médiocre potentialité de rétention couvrent respectivement 37,68 % et 25,58 % de la superficie du bassin versant. Les zones à bonne et excellente potentialité de rétention en eau de surface représentent respectivement 27,25 % et 9,47 % du bassin versant.*

Mots clés : *Identification ; Potentielle retenue ; Eau de surface ; Ouémé à Bétérou.*

Abstract : *The aim of this study is to identify favourable areas for surface water retention for agriculture in the Ouémé to Bétérou watershed. The methodology consisted in processing Sentinel images and DEM. The reclassification and combination of factors determining surface water retention (Altitude, Slope and Drainage Density) was used to map potential surface water retention areas. The mapping identified four (04) classes at watershed scale. Areas with poor and mediocre retention potential cover 37.68% and 25.58% of the catchment area respectively. Areas with good and excellent surface water retention potential represent 27.25% and 9.47% of the catchment area respectively.*

Keywords : *Identification; Potential reservoir; Surface water; Ouémé at Bétérou.*

Introduction

L'identification des zones de rétention en eaux de surface à l'échelle d'un bassin versant est essentielle pour une gestion durable de l'eau en agriculture. Ces zones jouent un rôle clé dans la régulation des écoulements d'eau, la réduction de l'érosion et l'amélioration de la disponibilité en eau pour les cultures. Dans des contextes agricoles vulnérables aux variations climatiques et aux phénomènes extrêmes, la conservation de ces zones peut améliorer la résilience des systèmes de production. Des recherches, telles que celles de Wodhouse et al., 2017 et Batchelor et al., 2017 ont montré que la gestion des zones de rétention peut augmenter l'efficacité de l'irrigation et limiter les risques de dégradation des sols. Cette étude se propose de cartographier ces zones dans le bassin de Bétérou, en utilisant des outils géospatiaux, afin de fournir des recommandations pratiques pour une gestion optimale de l'eau dans l'agriculture locale.

Le présent bassin est situé au nord du Bénin entre les 9°30' et 10°00' latitudes Nord, et entre les 1°30' et 2°48' longitudes Est (***Figure 647***). Il y règne un climat de type tropical avec alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies (mai à octobre).

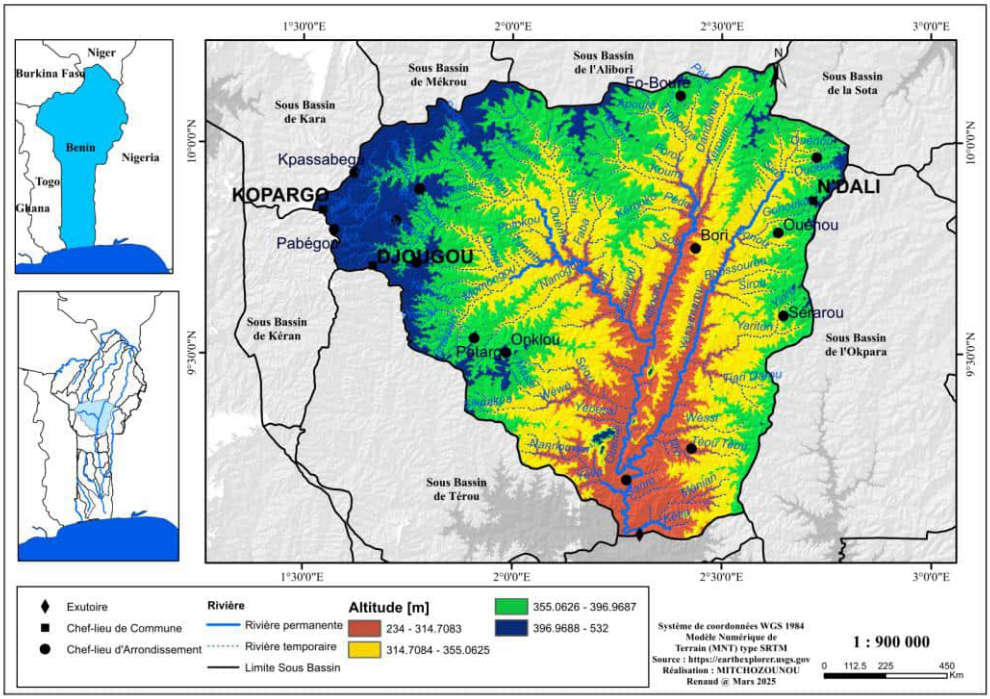


Figure 647 : Situation géographique du sous bassin de l'Ouémé à Bétérou.

1. Données et méthodes

1.1. Nature et source des données

Les données utilisées au cours de cette étude sont essentiellement celles issues de capteurs embarqués sur les satellites. Il s'agit dans un premier temps du Modèle Numérique de Terrain (MNT) de type SRTM d'une résolution de 30x30 m récupéré sur le site officiel de l'USGS (https://earthexplorer.usgs.gov). Cette image a permis d'extraire la pente, le réseau hydrographique et les altitudes. En plus les images sentinelles 2A d'une résolution de 10x10 m, des scènes **N0511 R022 T31PCM**, **N0511 R022 T31PDM**, **N0511 R022 T31PCL** et **N0511 R022 T31PDL** du 12 Janvier 2025 ont été extraites de la base de la NASA sur son site officiel (https://browser.dataspace.copernicus.eu/). Les images Sentinel ont été classifiées pour obtenir les différentes unités d'occupation du sol.

1.2. Méthode de traitement

L'identification des zones de rétention en eau de surface nécessite la conception et la mise en place d'une base de données en hydrologie et en topographie du secteur d'étude. La méthodologie utilisée consiste à classifier, standardiser et pondérer les différents facteurs qui interviennent dans le processus de rétention d'eau en surface et à les agréger suivant la méthode d'analyse hiérarchique des processus (AHP) (Jourda et al, 2006 ; Ake et al., 2018).

1.2.1. Classification et standardisation des facteurs

Les facteurs utilisés pour identifier les zones propices pour la rétention de l'eau de surface sont constituées de la pente, de la densité de drainage, de l'occupation du sol et de l'altitude. Les différents facteurs sont cartographiés, classifiés et standardisés.

Pente

La pente est obtenue grâce au Modèle Numérique de Terrain (MNT) avec l'outil ***slope*** sous Arcgis 10.4. Les zones de rétention en eau se retrouveront dans les zones de faible pente due à l'accumulation de l'eau en provenance de haute altitude. Les zones de forte pente favorisent ainsi son ruissellement.

Densité de drainage

La densité de drainage est un élément important dans les mesures de contrôle du débordement des cours d'eau. Elle exprime la longueur des cours d'eau par unité de surface (km/km^2). Généralement, une densité de drainage élevée signifie une grande surface de ruissellement par rapport aux zones de faible densité de drainage. Par conséquent, elle a une forte probabilité d'être rétentrice d'eau. Le facteur densité de drainage a été produit avec l'outil ***Line Density*** sous le logiciel ArcGIS 10.4.

Occupation du sol

L'occupation du sol intervient au sein du processus de rétention en eau de surface comme étant le facteur déterminant l'infiltration ou le ruissellement des eaux de surface. D'une part, les zones de végétation favorisent l'infiltration de l'eau, et d'autre part, les zones urbaines augmentent le ruissellement des eaux, car elles sont principalement constituées de surfaces imperméables et de terres nues. Le facteur occupation du sol est obtenu après application de la classification supervisée des images Sentinel 2A.

Altitude

L'altitude est un facteur crucial dans le processus de rétention en eau de surface du fait que la circulation en surface est régie par elle. C'est-à-dire que l'eau au cours de son écoulement en surface ira naturellement se reposer dans les lieux d'altitude basse en s'écoulant des lieux d'altitude élevée. Le facteur altitude est obtenu par le modèle numérique du terrain.

La classification des différents facteurs s'est basée sur les travaux antérieurs (Affoué et al., 2016 ; Ake et al., 2018) sur la cartographie du risque d'inondation. Ces facteurs ont ensuite été standardisés puisqu'ils sont mesurés selon des échelles et des unités différentes. L'intérêt de cette manœuvre est d'uniformiser les paramètres en définissant le degré d'appartenance de chaque critère à un intervalle commun de 1 à 10. Pendant la standardisation, la classe fortement défavorable a toujours la note la plus faible et la classe fortement favorable a la note la plus élevée. Le résultat de la classification et de la standardisation des critères identifiés, dont la combinaison favorise la bonne rétention ou non des eaux en surface, est consigné dans le ***Tableau 1***.

Pondération des critères

Les critères de décision sont pondérés grâce à la méthode de combinaison linéaire basée sur la technique de comparaison par paire selon le Processus d'Analyse Hiérarchique (Analytical Hierarchy Process, AHP) de Saaty (1977) utilisée par Affoué et al. (2016). Elle permet de produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à 1. La procédure se présente comme suit :

- Comparer l'importance relative de tous les éléments appartenant à un même niveau de la hiérarchie pris deux par deux, par rapport à l'élément du niveau immédiatement supérieur ; cette comparaison s'est appuyée sur l'échelle numérique proposée par Saaty (***Tableau 2***).

Tableau 1 : Reclassification des différents facteurs.

Facteur	Valeurs	Appréciation	Cote
Pente	0 - 1.67	Excellente	10

	1.67 – 3.34	Bonne	8
	3.35 – 10.97	Médiocre	6
	10.97 – 47.43	Mauvaise	4
Altitude	234 – 314.70	Excellente	10
	314 – 355.062	Bonne	8
	355 – 396.969	Médiocre	6
	396.87 - 532	Mauvaise	4
Drainage	0 - 8.59	Excellente	10
	8.6 – 20.997	Bonne	8
	20.998 – 33.405	Médiocre	6
	33.406 – 60.844	Mauvaise	4
Occupation du sol	Mosaïque Culture et Jachère, Forêt galerie	Excellente	10
	Savane arborée et arbustive	Bonne	8
	Surface rocheuse	Médiocre	6
	Forêt claire et savane boisée, Forêt dense, habitation	Mauvaise	4

- Configurer une matrice carrée réciproque formée par les évaluations des rapports des poids (K × K), K étant le nombre d'éléments comparés ; on obtient de cette façon : a = aij avec ajj = 1 et aji = 1/aij (valeur inverse), où a est la valeur de chaque facteur ; et i et j constituent respectivement les lignes et les colonnes (Saaty, 1977).

- Déterminer les poids associés à chaque critère grâce à une méthode approchée de calcul des vecteurs propres (Vpi). Les valeurs de ces vecteurs sont déterminées en calculant leur moyenne géométrique par ligne. Cela se traduit par la formule suivante :

$$\boldsymbol{V}_{pi} = \sqrt[n]{\prod\nolimits_{i=1}^{n} N_i}$$

Où

Vpi est le vecteur propre de chaque facteur ;

Ni est la valeur de chaque facteur.

Tableau 2 : Expression qualitative et numérique de l'importance relative d'une paire de facteurs (Saaty, 1977).

	Notes
Même importance	1
Modérément important	3
Fortement important	5
Très important	7
Extrêmement important	9
Modérément moins important	1/3
Moins important	1/5

Fortement important	moins	1/7
Extrêmement important	moins	1/9

Le coefficient de pondération (Wi) de chaque facteur est déterminé comme suit :

$$W_i = \frac{V_{pi}}{\sum_{i=1}^{n} V_{pi}}$$

Vpi est le vecteur propre de chaque facteur.

La matrice de comparaison par paire déterminant les coefficients de pondération des critères et des exemples de calculs sont présentés dans le ***Tableau 3***.

Tableau 3 : Pondération des différents facteurs.

	Pente	Altitude	Drainage	Occupation	Vp	Cp
Pente	1	1/3	5	3	1.46	0.27
Altitude	3	1	5	5	2.94	0.55
Drainage	1/5	1/5	1	5	0.66	0.12
Occupation	1/3	1/5	1/5	1	0.33	0.06

2. Résultats

La ***Figure 2*** présente les niveaux de rétention en eau de surface. Le niveau de rétention varie entre mauvais, médiocre, bon et excellent.

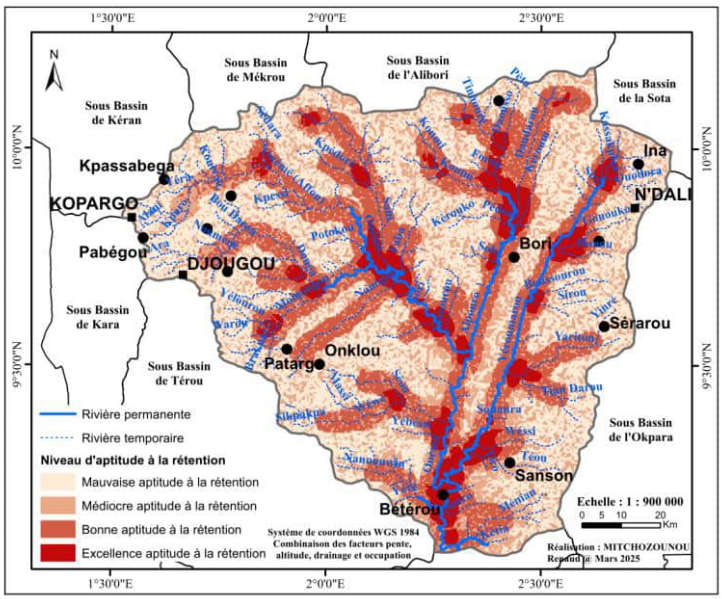


Figure 2 : Niveau d'aptitude à la rétention d'eau de surface.

Les zones de mauvaise aptitude à la rétention en eau de surface couvrent un total de 37,66 % de la superficie de la zone d'étude, elles se retrouvent dans les zones de forte pente et de haute altitude. Les zones de mauvaise aptitude se retrouvent en tête de bassin dans les alentours immédiats de la ligne de partage des eaux du bassin. Les zones de médiocre aptitude à la rétention en eau couvrent 25,58 % de la surface du bassin, elles se localisent dans les zones de pente et d'altitude intermédiaire. La densité de drainage dans ces zones ne favorise pas une

accumulation dans le temps de l'eau en surface. Les zones de bonne et d'excellente aptitude en eau de surface couvrent respectivement 27,25 % et 9,47 % de la surface du bassin versant. Ces zones sont situées exclusivement dans les zones de faible pente, de basse altitude et de bonne densité de drainage favorisant ainsi son accumulation dans le temps. Ces zones se localisent exclusivement près du lit des cours d'eau et dans le lit de ces derniers.

L'emplacement des zones d'excellente aptitude à la rétention ne permet pas leur pleine exploitabilité en raison de leur emplacement en plein dans le lit des cours d'eau. Les zones de bonne aptitude à la rétention en eau sont alors les zones les plus accessibles en raison de l'expansion du lit du cours d'eau pendant une certaine période de l'année.

Conclusion

L'objectif de cette étude est d'identifier les zones favorables à la rétention de l'eau de surface à l'échelle du bassin versant de l'Ouémé à Bétérou. La pondération et la combinaison des différents facteurs qui gouvernent le processus de rétention en eau de surface nous a permis d'identifier quatre (04) niveaux d'appréciation de la rétention en eau à savoir mauvaise (37,66 %), médiocre (25,58 %), bonne (27,25 %) et excellente (9,47 %). Cette recherche vient s'ajouter à l'enrichissement des débats en ce qui concerne l'utilisation des outils géospatiaux pour l'agriculture. Plus particulièrement, elle aborde l'identification des zones de disponibilité en eau au profit de l'agriculture.

Bibliographie

Affoué B. Y., Bi T., Alioune K., Oi M. J. et Kouamé, A. K., 2016 : Cartographie du potentiel en eau souterraine du bassin versant de la Lobo (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). *Hydrological Sciences Journal,* **Vol. 61***,* NO. 5, 856–867.

Ake G., Kouame J., Affoué B., et Koffi J. P., 2018 : Cartographie des zones potentielles de recharge de la nappe de Bonoua (sud-est de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau,* **Volume 31**, numéro 2, 129-144.

Batchelor C., et Schnetzer J. 2017 : Compendium on Climate-Smart Irrigation: Concepts, evidence and options for a climate-smart approach to improving the performance of irrigated cropping systems. *Global Alliance for Climate-Smart Agriculture*.

Jourda J., Saley M. B., Djagoua E. V., Kouame K. J., Biemi J., et Razack, M., 2006 : Utilisation des données ETM+ de Landsat et d'un SIG pour l'évaluation du potentiel en eau souterraine dans le milieu fissuré précambrien de la région de Korhogo (nord de la Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère et test de validation. *Revue de Télédétection,* **vol. 5***,* n° 4, 339-357.

Saaty T., 1977 : A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 234–281.

Wodhouse P., Veldwisch J., Venot D., Komakeck H., Omakech A., et Manjichi A., 2017. African farmer-led irrigation development: re-framing agricultural policy and investment. *The Journal of Peasant Studies,* **Volume 44 (1)**, 213-233.

ETUDE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE GRAND ENSEMBLE DE DEBITS IMPLEMENTE DANS LE BASSIN VERSANT DU BAFING A L'ENTREE DU BARRAGE DE MANANTALI : COMPARAISON A DES SYSTEMES D'ENSEMBLES SUR LA BASE DU GR4J OU DU HBV-LIGHT

Didier Maria NDIONE*[1], Adolph DIATTA[1,2], Moussé Landing SANE[1], Seidou Kane, Issa Leye, Samo DIATTA[2,3], Soussou SAMBOU[1]

[1] *Université Cheikh Anta Diop (UCAD), Département de Physique, Laboratoire d'Hydraulique et de Mécanique des fluides (LHMF, BP 5005, Dakar-Fann, Sénégal.*

[2]*Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Ecole Supérieure Polytechnique, Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan / Siméon Fongang*

[3]*Laboratoire d'Océanographie, d'Environnement et des Sciences du Climat, Ziguinchor, Sénégal*

Résumé *: Pour une appréciation plus rationnelle de la prévision hydrologique, il est judicieux de recourir aux méthodes probabilistes qui prennent en compte le caractère aléatoire des variables hydroclimatiques. L'objectif du travail est d'étudier l'évolution des performances de schémas d'ensemble préalablement validés. Un système de simulation d'ensemble de débits hydrologique a été constitué à partir d'un couplage du GR4J et du HBV-Light individuellement calés et validé afin d'obtenir un grand ensemble. Les performances du grand ensemble seront comparées avec celles d'ensembles produits par le GR4J seul et celles produits par le HBV. Les ensembles bruts et traités ont été validés par des scores de probabilité mais également à l'aide d'analyse de diagrammes (Attributs et ROCs). Les résultats montrent que l'augmentation du nombre de membre améliore des performances du modèle.*

Mots-Clés *: Grand Ensemble, Fleuve Sénégal, Bafing Makana, Barrage de Manantali*

Abstract : *For a more rational assessment of hydrological forecasting, it more convenient to use probabilistic methods taking into account the random features of the hydroclimatic variables. This study aims at analyzing the performances of some studied ensemble forecasting schemes. A hydrological grand ensemble system with more members is constituted by combining issues from GR4J and the HBV-Light separately calibrated and validated for ensemble providing. The performance of the grand ensemble is compared with the one from the GR4J and the HBV. The raw and dressed ensembles are validate through probabilistic scores and specific diagrams (Attributes and ROCs). Results show that the increasing of the ensemble members improves the performances of the model.*

Keywords*: grand Ensemble, Senegal River, Bafing catchment, Manantal dami*

Introduction

La prévision hydrologique faisant intervenir des paramètres hydroclimatiques complexes permet d'anticiper sur d'éventuelles situations d'inondation ou de sécheresse (Brooks and Doswell 2001, Nobert et al., 2010). Face aux faiblesses des approches classiques, la méthode des ensembles supposée être plus rationnelle, a été retenue comme alternative (Toth et al. 2001, Ferretti R et al. 2020). En effet, existe plusieurs schémas de prévision d'ensemble développés dans la littérature. Quelques-uns peuvent être explorer à travers les références suivantes : Vincendon et al., 2011 ; Wu et al., 2011 ; Juhui et al., 2012 ; Abaza et al., 2013 ; Brissette et al., 2013 ; Davolio et al., 2013 ; Bauer-Gottwein et al., 2014 ; Mainardi et al., 2015 ; Martinez, 2015 ; Ferretti R et al. 2020.

Dans cet article, nous étudions l'évolution des performances de systèmes de prévision d'ensemble en fonction du nombre de membres des ensembles. Les systèmes concernés sont ceux produits pour le GR4J (Ndione et al., 2018), le HBV (Ndione et al., 2020) et par la combinaison des deux. Le GR4J a été, dans un premier temps, forcé par un ensemble de précipitations statistiques pour générer un ensemble brut de débits. Cet ensemble basique a été démultiplié en trois autres, par l'application de trois méthodes de post-traitement (Silverman, Affine Kernel Dressing avec stabilisateur de variance et sans stabilisateur de variance). Le HBV-Light a été utilisé pour fournir un ensemble brut de débits prévus. La méthode de post-

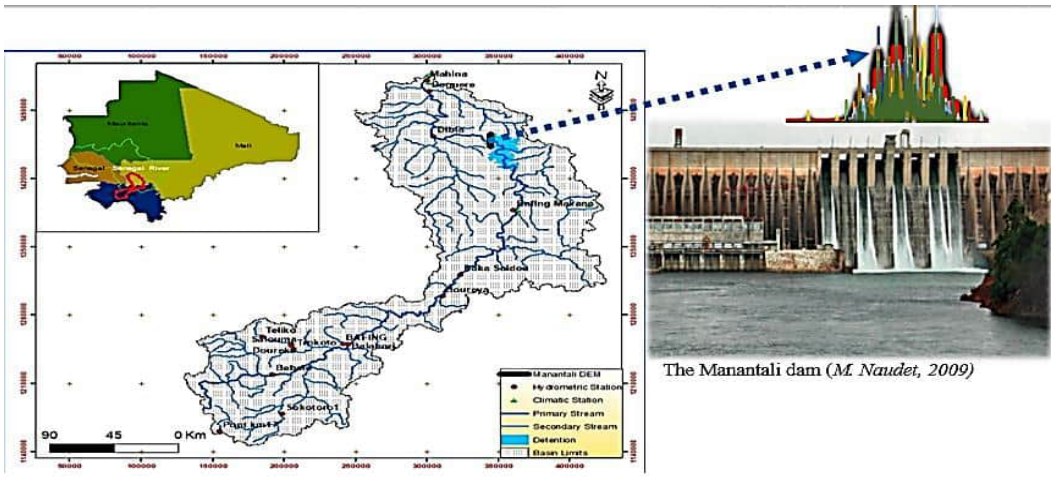
traitement retenue comme étant la plus appropriée, a été appliquée sur l'ensemble ainsi obtenu. Les sorties des deux modèles hydrologiques (HBV-Light et GR4J) ont été combinés pour parvenir à un ensemble plus étendu qui à son tour, subit le post-traitement retenu. Les ensembles ont été validés d'une part, par leur comparaison aux observations correspondantes à l'aide de critères d'évaluation probabilistes (Brier Scores, ContinuousRank Probability Scores etc.) et d'autre part, à l'aide d'évaluations sur la base d'interprétation d'un certain nombre de diagrammes (Evolutions, Attributs et ROCs).

Le système constitué par la combinaison des deux modèles hydrologiques (GR4J et HBV-Light) conduit à des performances meilleures que celles obtenues pour les systèmes basés sur le GR4J et le HBV-Light séparément. Les résultats montrent que les apports d'un post-traitement pourraient être compensés par l'augmentation du nombre de membres des ensembles.

1 Matériel et Méthodes

1.1 1.1 Zone d'étude

Le Bafing, illustré à la figure 1, est le principal affluent du bassin amont du fleuve Sénégal, qui est le deuxième fleuve le plus long d'Afrique de l'Ouest. Sa superficie est d'environ 343 000 km2 (Michel. 1973). Le Bafing s'étend sur 38000 km2, partagés entre le Mali et de la Guinée (Sane et al. 2017, Ndione et al. 2018). Il fournit environ 60 % des entrées du fleuve sénégalais mesurés à la station de Bakel. Sa pente et sa longueur sont respectivement d'environ 5 m/km et 670 km (Maïga et al., 1995). La principale source du bassin versant du Bafing correspond aux montagnes du Fouta Djallon situées en Guinée. Le climat est de type subguinéen dans le sud du Bafing et soudanais dans la partie nord (Sane et al. 2017). Le barrage à buts multiples de Manantali y est construit pour l'hydroélectricité, le soutien d'étiages, l'irrigation, le support de navigabilité et pour le laminage de crues (Bader et al. 2015).



The Manantali dam (*M. Naudet, 2009*)

1.2 Mise en place de l'ensemble sur la base du GR4J

Des erreurs du modèle sur 14 ans ont été considérées pour l'établissement du noyau de perturbation permettant d'avoir un ensemble de débits simulés à travers un ensemble de transformations statistiques.

Un motif d'erreurs (Noyau) est constitué sous forme matricielle en vue de perturber de façon plus ou moins loyale les simulations correspondant aux dates respectives du calendrier.

Ainsi, l'erreur à chaque date est constituée d'un ensemble de valeurs qui représentent toutes l'erreur à cette date conformément au caractère cyclique de la pluie journalière dans notre zone

d'étude. La même structure est retenue pour chacune des séquences de 365 jours annuels. Nous obtenons donc, un motif d'erreurs spécifique au modèle de prévision ainsi établi.

Une loi de distribution multivariée de Gauss est utilisée pour augmenter le nombre de membres de l'ensemble d'erreurs brutes préalablement filtré par une transformation de Box-Cox (Bickel and Doksum, 1981 ; Sakia, 1992) dont l'inverse est, après augmentation du nombre de membres, appliqué pour restaurer les caractéristiques statistiques initiales du motif d'erreurs. Le paramètre lambda de la transformation Box-Cox est estimé à l'aide de la fonction lm de la librairie « fit.models » qui permet d'avoir le paramètre optimale avec un balayage de entre deux points empirique (-3,3) sur des pas de 0,01. Le paramètre optimale est :λ = 0,24. L'application de méthodes de post-traitement d'ensemble permet d'obtenir trois autres ensembles pour la même période (Jha et al., 2015 ; Lucatero et al., 2017 ; Silverman, 1998 ; Broecker et Smith, 2008). Les méthodes de post-traitement appliquées sont : la méthode de Silverman ("Silverman Rule of Thumb") et la méthode du "Affine Kernel Dressing " avec deux approches différentes d'estimation de paramètres. Les ensembles sont validés par des vérificxations probabilistes telles que : le Brier Score, Brier Skil Score, Rank Probability Score, Continuous Rank Probability Score, CRPSreliability, Aire Sous la Courbe de ROC (AUC))

1.3 Mise en place de l'ensemble sur la base du HBV-Light

L'utilisation de l'ensemble de pluies prévues comme entrées de modèle hydrologique aboutie à une prévision hydrologique d'ensemble. A chaque pas de temps, aux différents membres de l'ensemble de pluies seront associés différents débits. En étendant le processus sur le période d'étude, on obtient un ensemble de débits sur la même période. L'ensemble ainsi obtenu est appelé ensemble brut de prévisions hydrologiques. Le mécanisme de production de l'ensemble brut se traduit par une variation des critères d'évaluation du modèle hydrologique lors de la prévision. On constate que, parmi les critères d'évaluation du HBV, le plus sensible aux variations des entrées, c'est l'efficacité R_{eff} du modèle. Par ailleurs, une faible variabilité du coefficient de détermination a été particulièrement remarquée. Le schéma du système de prévision d'ensemble de débits dans cette partie se résume à l'utilisation des observations de pluies journalières du Bafing pour établir un modèle harmonique et un modèle stochastique dont les erreurs seront utilisées pour perturber le même modèle en vue d'obtenir un ensemble de pluies prévues, au forçage du modèle HBV par les séries constituant l'ensemble de pluies prévues pour aboutir à un ensemble de débits bruts prévus en amont du barrage de Manantali, à l'application de la méthode de post-traitement jugée plus adéquate (AKD avec barrière logarithmique) sur la base des résultats obtenus avec le GR4J et finalement à la vérification des ensembles ainsi obtenus par les mêmes critères que celles utilisées pour les ensembles tirés du modèle (GR4J).

1.4 Mise en place du grand ensemble

Dans la littérature, un grand nombre de travail a porté sur l'étude des qualités des systèmes de prévision d'ensemble en fonction du nombre de membres des ensembles. La plupart d'entre elles montre que l'augmentation du nombre de membres contribue à l'amélioration de la qualité des prévisions d'ensemble. Ainsi, un grand ensemble a été constitué par la mise en commun des sorties du GR4J et du HBV-Light produites dans le cadre de cette thèse. L'objectif c'est aussi d'étudier le comportement des critères d'évaluation utilisés face à la variation du nombre de membres d'un ensemble de prévision. Les mêmes critères sont utilisés pour évaluer le grand ensemble.

2. Résultats

Tableau 3 : Caractéristiques des grands ensembles (combinaison du GR4J et du HBV-Light)

Ensemble	BSRELI	RES	UNC	BSS	CRPS	CRPSRELI	AUC
Raw-G-Ens	0.021	0.189	0.223	0.75	0.050	0.024	0.984

	-4.7619%	-0.5291%	0%	-5.3333%	-6%	-12.5%	0.102 %
AKD-G-Ens	0.022	0.190	0.2234	0.79	0.053	0.027	0.985

Tableau 3 : Evolution des caractéristiques par rapport à celles des ensembles du GR4J et du HBV

Ensemble	**BSRELI**	**RES**	**UNC**	**BSS**	**CRPS**	**CRPSRELI**	**AUC**
Raw GR-G	-483.33%	78.63%	-0.54%		91.41 %	91.42%	9.004 %
AKD GR-G	-94.69%	86.27%	-0.54%		87.05 %	-29.81%	6.678 %
Raw HBV-G	-250%	41.04%	-0.54%	29.75 %	82.26 %	81.25%	2.183 %
AKD HBV-G	-266.66%	36.69%	-0.54%	32.99 %	64.43 %	-275%	2.181 %

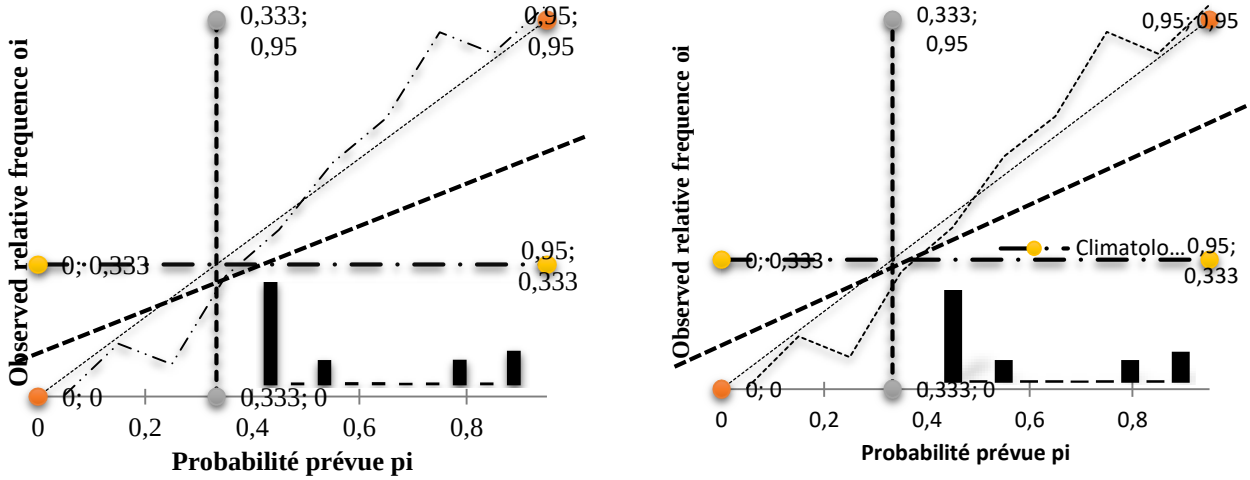


Figure 648 : Attributs des grands ensembles

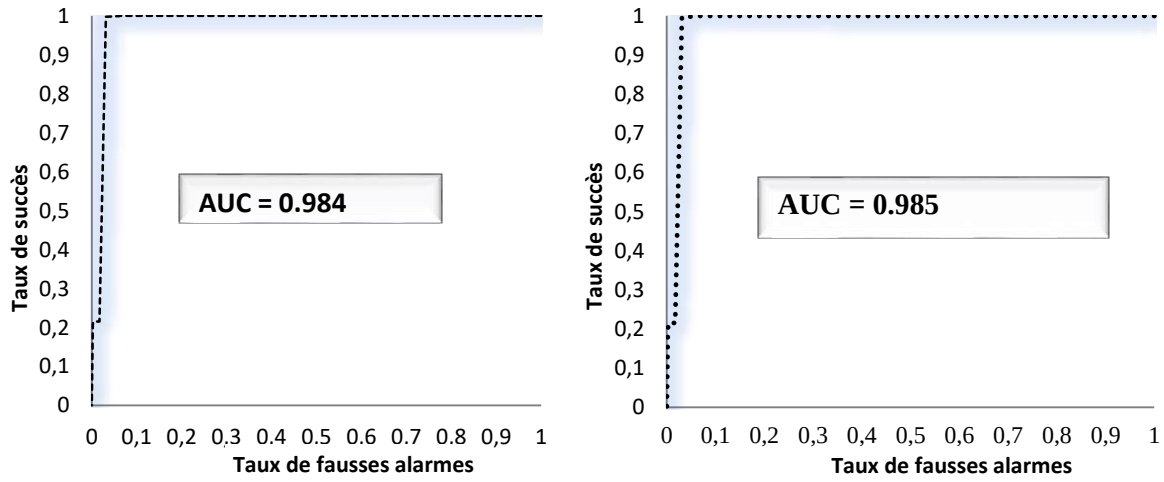


Figure 649 : ROC des grands ensembles

Conclusion

La méthode de prévision d'ensemble repose sur des traitements et des interprétations probabilistes. Un grand nombre de membres contribuerait donc à la fiabilité de telles approches. Dans ce papier, un grand ensemble constitué par la combinaison des ensembles de GR4J et

HBV a été étudié. L'objectif est de voir les effets du nombre de membres des ensembles sur la qualité des simulations. La corrélation entre les simulations et les observations des grands ensembles résultant du couplage des sorties des modèles GR4J et HBV est de 0,944 (ensembles bruts et traités) ; soit une amélioration de la corrélation de 4,02 % par rapport aux prévisions globales obtenues par le seul HBV. De plus, comparé aux post traités du HBV (AKDEns), la fiabilité selon le critère de Brier a montré une variation de 57,14 %, l'AUC de 1,07 %, le CRPS de 47,5 % et la résolution de 15,5 %. Globalement, l'augmentation du nombre de membres entraîne une nette amélioration de la qualité des simulations. Nous avons constaté que le post-traitement, en plus de nécessiter un bon choix, pourrait ne pas être nécessaire lorsque nous disposons d'ensembles comportant un grand nombre de membres

Bibliographie

***Abaza M., Anctil F., Fortin V. and Turcotte R.*, 2013: A Comparison of the Canadian Global and Regional Meteorological Ensemble Prediction Systems for Short-Term Hydrological Forecasting. American Meteorological Society, 141, 3462- 3476.**

B*ader JC, Albergel J., 2015: Artificial flood support on Senegal river: a challenge to protect natural resources in the valley. Montpellier: IRD. p 23. https ://www.docum entat ion.ird.fr/hor/fdi:01006 5107. p 321.*

Bauer-Gottwein P., Jensen I.H., Guzinski R., Bredtoft G.K.T., Hansen S.and Michailovsky. C.I, 2014 : Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss, 11, 11071–11108. doi:10.5194/hessd-11-11071-2014.

Bickel P.J. and Doksum K.A., 1981: An analysis of transformations revisited. Journal of the American Statistical Association, 76 (374), 296-311.

***Brissette F., Chen J., Gatien P., Arsenault R., Li Z.*, 2013 : Système de prévision des étiages comme moyen d'adaptation aux impacts des changements climatiques. ETS-DRAME-RT–2013-021.**

Brooks H. E. and Doswell C.A. III., 2001: Somme aspect of the international climatology of tornadoes by damage classification. Atmos. Res., 56, 191-201.

***Davolio S., Miglietta M. M., Diomede T., Marsigli C. and Montani A.*, 2013: A flood episode in northern Italy: multi-model and single-model mesoscale meteorological ensembles for hydrological predictions. Hydrology and Earth System Sciences. doi:10.5194/hess. 17, 2107–2120.**

Ferretti R., Lombardi A., Tomassetti B., Sangelantoni L., Colaiuda V., Mazzarella V., Maello I., Verdecchia M., Radaelli G., *2020: Ameteorological-Hydrological regional ensemble forecast for an early-warning system over Apennine catchments in central Italy. HESS, 24 (6).*

***Juhui M., Zhu Y., Wobus R. and Wang P.*, 2012: An Effective Configuration of Ensemble Size and Horizontal Resolution for the NCEP GEFS. Advances In atmospheric sciences, 29 (4), 782-794.**

Kalnay, E., (2003). Atmospheric modeling, data assimilation and predictability, Cambridge University Press, 341 pages

Lucatero D., Madsen H., Refsgaard J. C., Kidmose J., Jensen K. H., 2017: Seasonal streamflow forecasts in the Ahlergaarde catchment, Denmark: effect of preprocessing and postprocessing on skill and statistical consistency. Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., https://doi.org/10.5194/hess-2017-379.

Maïga M., 1995 : Le bassin du fleuve Sénégal: de la Traite négrière au développement sous régional autocentré. L'Harmattan, Paris.

***Mainardi F., Schwanenberg F.D., Collischonn W and Weertsb A.*, 2015: Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. Journal of Hydrology : Regional Studies, 4 (2015), 196–227.**

***Martinez F.T.A.*, 2015 : Conception d'un système de prévisions hydrologiques d'ensemble multi-modèle en contexte opérationnel. Mémoire de maitrise. Département des Sciences Appliquées. Université du Québec à Chicoutimi Saguenay. Canada.**

Ndione DM, Sambou S, Sané ML, Kane S, Leye I, Tamba S, Diedhiou R, Cisse MT, Mgom I, 2018: Modeling ensemble streamflow: application to the Senegal river upper the Manantali dam. Afr J Sci Technol 12(12):469–479.

Ndione DM, Sambou S, Kane S, Diatta Samo, , Sané ML, Leye I., 2020: Ensemble forecasting system for the management of the Senegal River discharge: application upstream the Manantali dam. Applied Water Science (2020) 10:126. https://doi.org/10.1007/s13201-020-01199-y.

Sakia R M., 1992: The Box-Cox transformation technique: a review. The Statistician, 41 (2), 169-178.

Sane ML, Sambou S, Ndione DM, Leye I, Kane S, Badji ML., 2017 : Analyse et traitement des séries de débits annuels et mensuels sur le Fleuve Sénégal en amont du barrage de Manantali: cas des stations de Bafing Makana et DakkaSaidou. Rev Ivoir Sci Technol 30:102–120.

Silverman B.W., 1998: Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London: Chapman and Hall. Journal of the American Statistical Association 83(401). doi: 10.2307/2288956.

Broecker J. and Smith L., 2008: From ensemble forecasts to predictive distribution functions. Tellus (2008), 60 (4), 663–678. doi 10.1111/j.1600-0870.2008.00333.x.

Toth Z., Zhu Y. and Marchok T., 2001: The use of ensembles to identify forecasts with small and large uncertainty. Weather Forecasting, 16, 463–477.

***Vincendon B., Ducrocq V., Nuissier O. and Vié B*., 2011: Perturbation of convection-permitting NWP forecasts for flash-flood ensemble forecasting. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11, 1529–1544.**

***Wu L., Seo D.-J., Demargne J., Brown J. D., Cong S., Schaake J.*, 2011: Generation of ensemble precipitation forecast from single-valued quantitative precipitation forecast for hydrologic ensemble prediction. Journal of Hydrology, 399, 281-298.**

VARIABILITE SAISONNIERE DE LA PLUVIOMETRIE ET BILAN HYDROLOGIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA LOUDIMA AU SUD-OUEST DE LA RÉPUBLIQUE DU CONGO

Médard NGOUALA MABONZO

Laboratoire de Géographie, d'Environnement et d'Aménagement (LAGEA), Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université Marien Ngouabi, République du Congo, medardngouala2020@gmail.com

Résumé : *Ce travail présente la variabilité saisonnière de la pluviométrie et bilan hydrologique dans le bassin versant de la Loudima au Sud-ouest de la République du Congo. Les données pluviométriques utilisées couvrent la période 1988–2018. Une approche statistique aux indices centrés et réduits a été utilisée. Nos analyses nous ont permis de constater, sur le bassin versant de la Loudima, les coefficients de variabilité pluviométrique varient entre 7,14 et 13,19 %. Sur la période de 1988–2018, ce bassin versant a reçu une pluie moyenne de 1467mm/an ; l'évapotranspiration réelle (ETR) sur le bassin versant est estimée à 1055,46 mm/an soit 71,94 % des précipitations moyennes annuelles ; le ruissellement total approche 44,79 mm/an; par déduction, selon la formule du bilan hydrologique, l'infiltration totale est estimée à 366,77 mm/an.*

Mots clés : *République du Congo, bassin versant, Loudima, pluviométrie.*

Abstract: Seasonal variability of rainfall and hydrological balance in the loudima watershed in the southwest of the Republic of Congo

This work presents the seasonal variability of rainfall and hydrological balance in the Loudima watershed in the southwest of the Republic of Congo. The rainfall data used cover the period 1988–2018. A statistical approach with centered and reduced indices was used. Our analyses allowed us to observe, in the Loudima watershed, the coefficients of rainfall variability vary between 7.14 and 13.19%. Over the period 1988–2018, this watershed received an average rainfall of 1467mm/year; the actual evapotranspiration (ETR) on the watershed is estimated at 1055.46 mm/year or 71.94% of the average annual rainfall; the total runoff approaches 44.79 mm/year; by deduction, according to the hydrological balance formula, the total infiltration is estimated at 366.77 mm/year.

Keywords*: Republic of Congo, watershed, Loudima, rainfall.*

Introduction

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes (Kouassi et *al.*, 2010). la variabilité pluviométrique sur les ressources en eau de surface a été mis en évidence par de nombreuses études en milieu tropical africain (Sidibé et *al.*, 2020; Tramblay et *al.*, 2020; Ebodé et *al.*, 2020). Les changements climatiques observés au cours des cinquante dernières années en République du Congo, notamment dans la vallée du Niari, induisent des impacts visibles dans le cycle hydrologique du bassin versant de la Loudima. Outre cette variabilité climatique, qui détermine la dynamique pluviométrique de cet espace géographique, le récent phénomène d'anthropisation a certainement provoqué un changement des relations pluie et régime hydrologique des cours d'eau de ce bassin versant, qui nécessite une nouvelle étude de la variabilité hydrologique. Cette étude est consacrée à l'analyse de la variabilité pluviométrique dans le bassin versant de la Loudima, au moyen des séries pluviométriques. L'objectif principal de cet article est donc de documenter le type et l'ampleur des changements du régime pluviométrique dans le bassin versant de la Loudima dus aux changements climatiques.

1. Méthodologie

1.1. Cadre général d'étude

Le bassin versant de la Loudima est situé dans la vallée du Niari au sud-ouest de la République du Congo, entre les latitudes 4°0'0" et 4°50'0" Sud et les longitudes 12°50'0" et 13°40'0' Est (Figure 1). Cette zone fait partie de deux unités orographiques à savoir : les pays du Niari et de la

Nyanga et la vallée du Niari. Il est entièrement constitué de formations du super groupe Ouest-congolien comprend du haut en bas : le groupe des diamictites et grès, le groupe schisto-calcaire et le groupe schisto-grésseux (Boudzoumou etTrompette, 1988). Ses sols sont répartis dans trois principales classes : des sols ferralitiques, des sols hydromorphes et des sols alluviaux (Mapangui, 1988). Deux grands paysages végétaux couvrent l'ensemble de ce bassin versant : forêts et savanes.

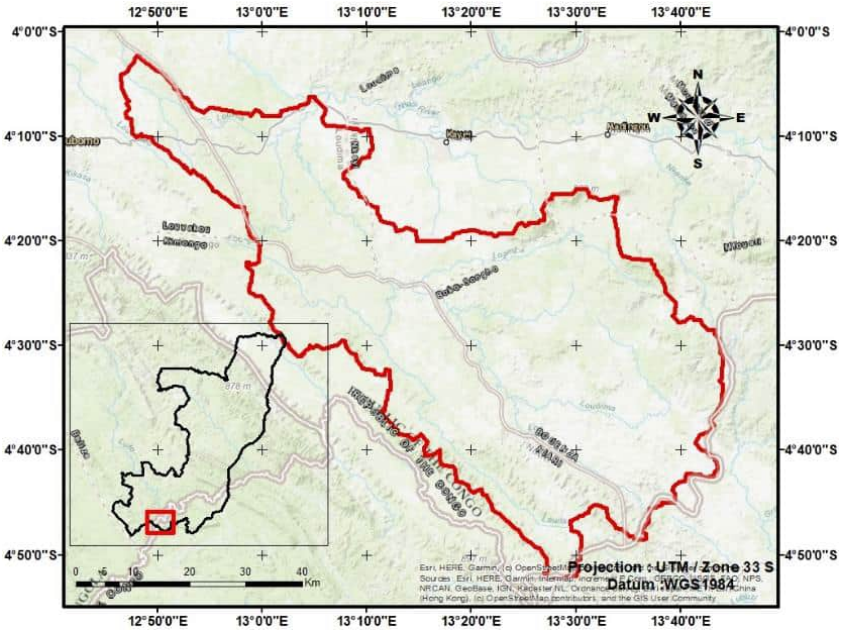


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de la Loudima

De par sa situation géographique, le bassin versant de la Loudima est caractérisé par un climat tropical humide, marqué par quatre saisons de répartitions inégales : une grande saison de pluie (Mars à mai), une petite saison de pluie (d'octobre à décembre) puis une grande saison sèche (de juin à septembre) et une petite saison sèche (de janvier à février). Les pluviométries moyennes annuelles sont de l'ordre de 1467 mm/an.

1.2. Méthode

1.2.1. Collecte des données

Les données utilisées pour ce travail de recherche sont notamment celles de la pluviométrie dans le bassin versant de Loudima pour une période de trente (30) ans (1988 à 2018). Elles ont été collectées au poste pluviométrique de Moutela de la Société Agricole de Raffinage Industriel du Sucre (SARIS) du Congo.

1.2.2. Méthodes de traitement des données

Sur la base du logiciel Excel, les formules d'écart type, de la moyenne arithmétique et d'indice pluviométrique sont entre autres formules utilisées pour le calcul des données de la série. Ces formules nous ont permis d'apprécier et de caractériser la dispersion des séries statistiques et de distinguer les années excédentaires des années déficitaires.

Etude du bilan hydrologique dans le bassin versant de la Loudima

Le bilan permet à priori d'évaluer de façon approximative l'alimentation en eau d'une nappe souterraine. Simple opération comptable, le bilan hydrologique vise à établir le bilan hydrique d'une unité hydrologique définie (le bassin versant) pendant une période de temps donné. Il s'écrit : **P= ETR + R + I,** avec **P** = pluie en mm ; **ETR** = évaporation en mm ; **R** = écoulement en mm ; **I** = infiltration en mm.

2. Résultats et analyse de la variabilité pluviométrique dans le bassin versant de la Loudima

2.1. Variabilité interannuelle des précipitations

La variabilité pluviométrique interannuelle dans le bassin versant de la Loudima met en évidence deux types périodes pluviométriques : la période excédentaire et la période déficitaire.

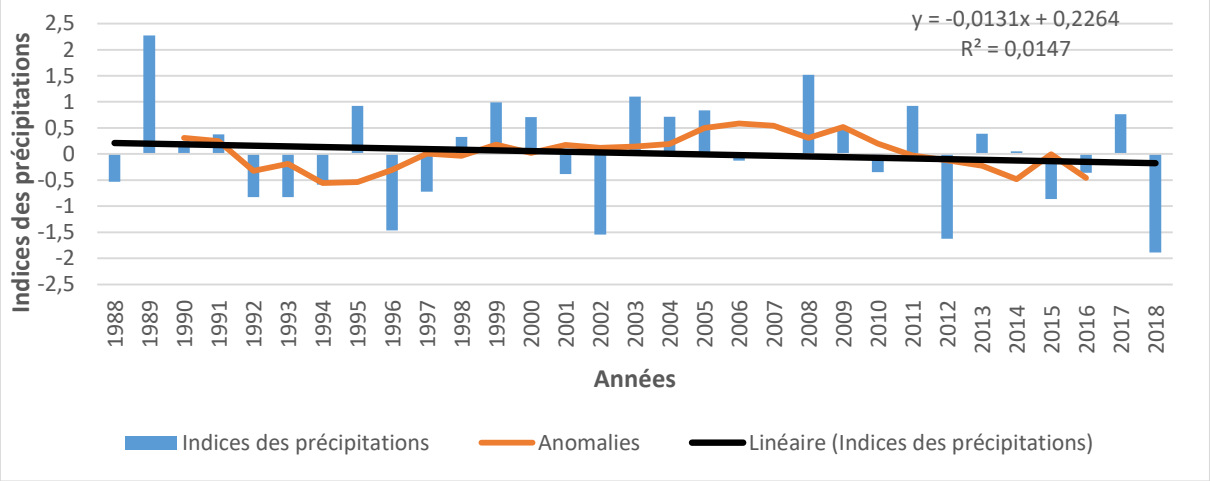


Figure 2. Variabilité pluviométrique interannuelle dans le bassin versant de la Loudima

Cette variabilité présente des années déficitaires (1988, 1992-1994, 1996-1997, 2001-2002 ; 2006, 2010, 2012, 2015 et 2018) et des années excédentaires (1989-1991, 1995, 1998-2000, 2003-2005, 2007, 2008-2009, 2011, 2013-2014 et 2017. La tendance de l'indice pluviométrique pondéré révèle une baisse significative à partir de 2018 avec un coefficient de détermination R^2 de l'ordre 12,12 %.

2.2. Variabilité pluviométrique saisonnière dans le bassin versant de la Loudima

Comme pour la variabilité interannuelle, la variabilité pluviométrique saisonnière (Tableau 1) a été étudiée à partir des coefficients de variation de chaque saison. Il a pour but d'apprécier le degré de variabilité des précipitations durant la période de 1988 à 2018 au cours des différentes saisons.

Tableau 1. Variabilité pluviométrique inter saisonnière dans le bassin versant de la Loudima

Station	OND	MAM	JF	JJAS
Moutela - Nkayi	7,14 %	11,04 %	16,58%	13,19%

Variabilité pluviométrique en saison OND

L'évolution saisonnière de variabilité pluviométrique d'Octobre-Novembre-Décembre(OND) pour l'indice pluviométrique pondéré (Figure 3) traduit deux types de périodes : les périodes excédentaires (1989 ; 1991 ; 1995 ; 1998-2000 ; 2003-2005 ; 2007-2009 ; 2013 ; 2016) avec 10 années d'excédent contre 4 années sèches. La période 1988 ; 1990 ; 1992-1994 ; 1996-1997 ; 2001-2002 ; 2006 ; 2010- 2012 ; 2014-2015 ; 2017-2018 matérialise une période déficitaire avec 11 années sèches contre 6 années humides. L'étude de la tendance de l'indice pluviométrique pondéré révèle une baisse significative à partir de 2006 avec un coefficient de détermination R^2 de l'ordre 7,14 %.

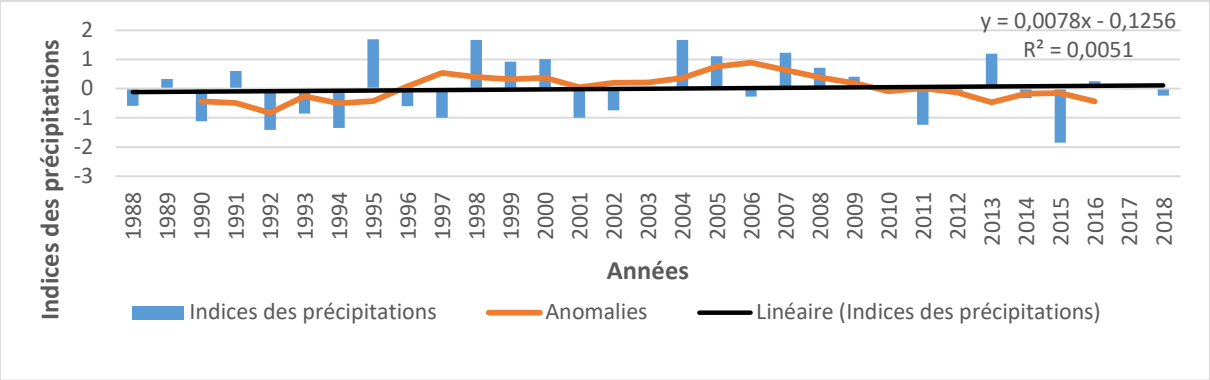


Figure 3. Variabilité pluviométrique durant la saison Octobre-Novembre-Décembre dans le bassin versant de la Loudima

Variabilité pluviométrique durant la saison Mars-Avril-Mai (MAM)

La variabilité pluviométrique durant la saison Mars-Avril-Mai dans le bassin versant de la Loudima (Figure 4) indique que l'indice pluviométrique pondéré, révèle les périodes déficitaires (1988 ; 1991-1993 ; 1996 ; 1998 ; 2002 ; 2004-2006 ; 2009-2010 ; 2012 ; 2016 ; 2018) avec en moyenne 4 années contre 13 années humides et les périodes excédentaires (1989-1990 ; 1994 ; 1999 ; 2001 ; 2003 ; 2007-2008 ; 2011 ; 2014-2015 ; 2017) avec en moyenne 6 années contre 6 années sèches.

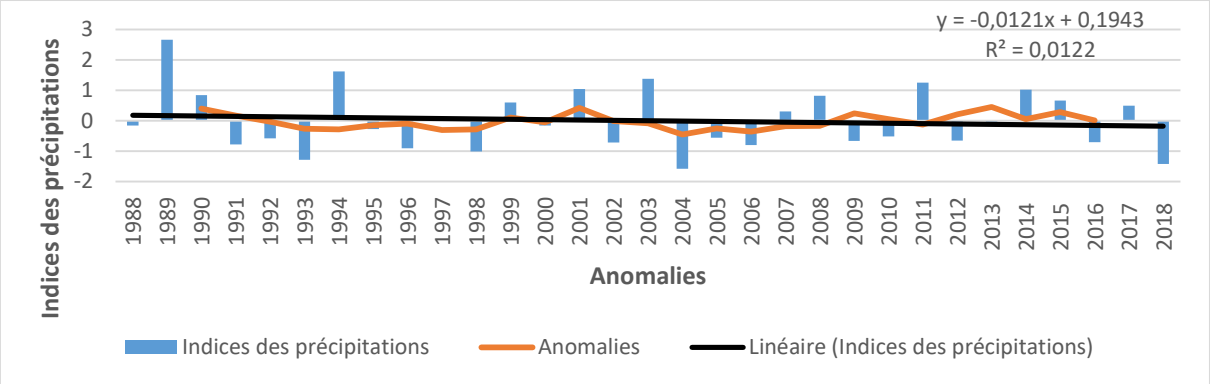


Figure 4. Variabilité pluviométrique durant la saison Mars-Avril-Mai dans le bassin versant de la Loudima

Cette variabilité présente deux tendances dans cet espace géographique : la première tendance présente une baisse significative en 1993 ; 2004 et 2018 et la deuxième tendance est à la hausse en 1989 ; 1994 ; 2003 et 2011 avec un coefficient de détermination R^2 de l'ordre 11,04 %.

Variabilité pluviométrique durant la saison janvier-février (JF)

La variabilité pluviométrique saisonnière de janvier-Février (JF) dans le bassin versant de la Loudima révèle deux tendances (Figure 5) : une tendance à la hausse et l'autre à la baisse des précipitations. Cette saison enregistre les périodes distinctes (les périodes déficitaires et les périodes excédentaires). Les périodes (1994; 2001; 2007 ; 2012 ; 2014) sont déficitaires avec en moyenne 5 années sèches contre 11 années humides.

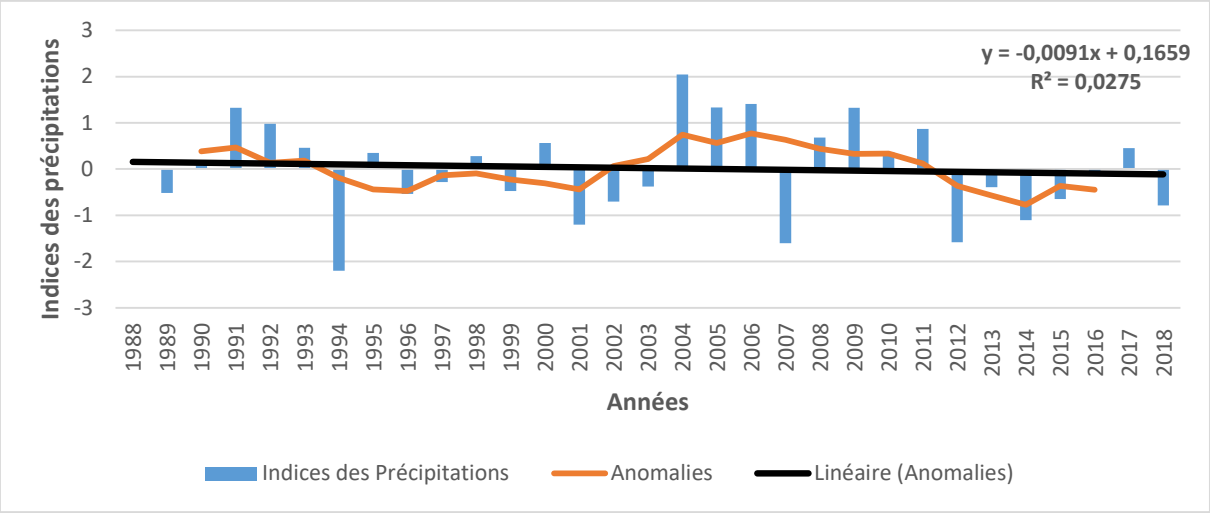


Figure 5. Evolution de la variabilité pluviométrique de la saison Janvier-Février

Les périodes dites excédentaires montrent l'existence de deux grandes tendances : une tendance à la hausse de 5 années (1991; 2004-2006 ; 2009) et une tendance à la baisse de 9 années (1992-1993 ; 1995 ; 1998 ; 2000 ; 2008 ; 2010 ; 2011 ; 2017) (Figure 5).

Variabilité pluviométrique durant les saisons Juin-Juillet- Août (JJAS)

La variabilité pluviométrique saisonnière de Juin - Juillet - Août - Septembre (JJAS) (Figure 6), montre une alternance des tendances pluviométriques : une tendance à la baisse qui est significative à partir de 1988 ; 1992 ; 2005 ; 2006 et une tendance à la hausse (1990 ; 1998-1999 ; 2009 ; 2016) avec un coefficient de détermination R^2 de l'ordre 13,19 %.

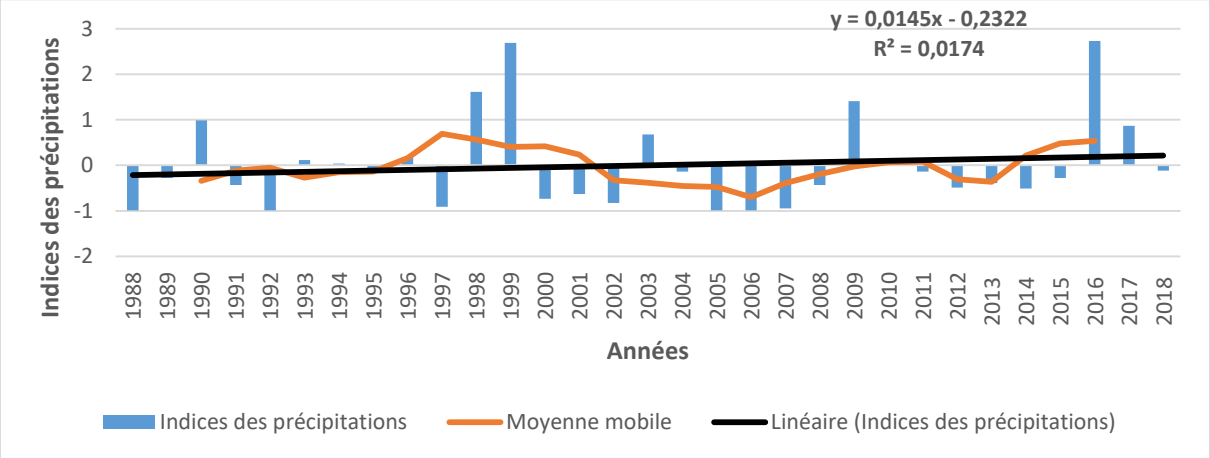


Figure 6. Evolution des écoulements durant la saison Juin-Juillet- Août-Septembre (JJAS)

2.3. Bilan hydrologique dans le bassin versant de la Loudima

Le bilan hydrologique est réalisé en tenant compte des données disponibles. Il a permis de déterminer la lame d'eau ruisselée sur le bassin versant de la Loudima ainsi que l'infiltration efficace qui représente la recharge de la nappe.

Les résultats de cette Figure 7 montrent l'évaluation du système hydrologique du bassin versant de la Loudima dans son ensemble et présentent les composantes du bilan hydrologique qui se répartissent comme repris sur la Figure.

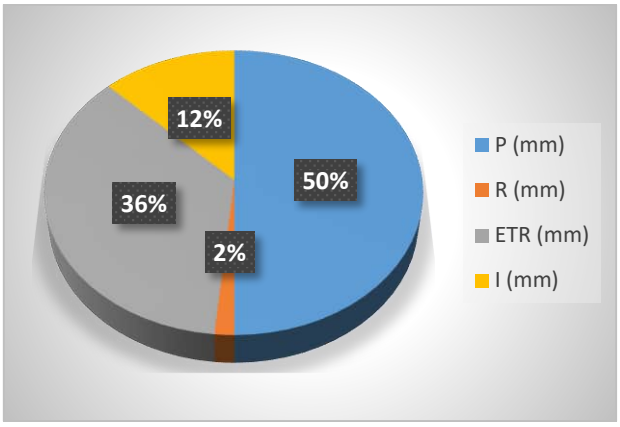


Figure 7. Bilan hydrologique au niveau du bassin versant de la Loudima

La figure 7 montre une contribution faible de la nappe (366,77 mm) et une importante évapotranspiration réelle (1055,46 mm) au bilan hydrologique de la zone d'étude pour compenser de manière simultanée le déficit hydrique du sol lié à l'évapotranspiration et à la recharge de la nappe.

Conclusion

La variabilité climatique est une réalité largement reconnue aujourd'hui dans la communauté scientifique. Durant ces dernières décennies, les chercheurs scientifiques de la République du Congo parlent de la variabilité climatique, surtout de celle des précipitations. Dans ce travail scientifique, nous travaillons sur la recherche des indicateurs du changement climatique. Nous constatons que le bassin versant de la Loudima a connu des précipitations pluviométriques concentrées dans le temps et dans l'espace. Cette irrégularité favorise plusieurs impacts environnementaux et risques hydrologiques dans la dynamique des cours d'eau. Ces risques hydrologiques ont constitué durant ces dernières années une menace majeure pour l'ensemble des bassins versants, surtout pour les zones situées au pied de la montagne comme le cas du bassin versant de la Loudima. Ce dernier est soumis à un climat tropical humide de la variabilité très importante au niveau des précipitations pluviométriques, chose qui influence négativement la dynamique hydrologique et des plans d'eau qui peut avoir pour conséquence, chez les riverains.

Bibliographie

Atlas, 2001 : *République du Congo*. Ed.J.A., Paris, 69 pages.

Ebodé, V. B., Mahé, G., Dzana, J. G., Amougou, J. A., et Batha, R. A., 2020 : Changement climatique dans le bassin versant de l'Ogooué : évolution récente et impact sur les écoulements, Afr. Sci., 17, 110–125.

Kouassi, A. M., Kouamé, F. K., Koffi, Y. B., Dje B. K., Paturel, E. J., et Oulare, S., 2010 : Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire, CyberGeo, July 2010. https://doi.org/10.4000/cybergeo.23388.

Mapangui A., 1988 : Mécanisation des cultures et conservation des sols ferrallitiques dans la Vallée du Niari (Congo). 9ème réunion du comité ouest et Centre Africain de corrélation des 5015,14 - 23 nov. 1988. Cotonou (Bénin), 16 pages.

Sidibé, M., Dieppois, B., Eden, J., Mahé, G., Paturel, J. E., Amoussou, E., Van de Wiel, M., Anifowose, B., and Lawler, D., 2020 : Nearterm impacts of climate variability and change on hydrological systems in West and Central Africa, Clim. Dynam., 54, 2041–2070.

Tramblay, Y., Villarini, G., and Zhang, W., 2020 : Observed changes in flood hazard in Africa, Environ. Res. Lett., 15.

EVALUATION DE LA NATURE RADIOACTIVE DES SEDIMENTS DES BAIES DE LA LAGUNE EBRIE D'ABIDJAN, COTE D'IVOIRE

Koffi Sébastien OUFFOUE[1;2] ; Gouanda Thibaut BEA[; 12]; Ossey Bernard YAPO [1;3]; Lassiné OUATTARA [2]

1- Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL), Abidjan, 04 BP 451 Abidjan 04, Côte d'ivoire. offoe@yahoo.fr,

2- Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière (LCRM), Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, BP 582 Abidjan 22, Côte d'ivoire.

3- Laboratoire des Sciences de l'Environnement, Université NanguiAbrogoua, Côte d'Ivoire

Résumé : *En Côte d'Ivoire, les lagunes représentent le point de transit de la majorité des apports continentaux. Elles sont ainsi de plus en plus vulnérables et leur équilibre écologique est rapidement modifié sous l'influence de certains facteurs naturels ou anthropiques. L'objectif de cette étude est d'évaluer le niveau de présence de plomb 210 dans les sédiments. Les sédiments ont été échantillonnés lors des campagnes du Réseau National d'Observation de la Qualité des Eaux sur les baies réparties sur treize sites d'étude. L'analyse par spectrométrie alpha a été réalisée en trois étapes (minéralisation aux acides concentrés, auto-déposition sur disque d'argent, comptage dans un détecteur alpha avec barrière de surface en silicone). Les activités en plomb-210 les plus élevées ont été obtenues dans les baies de Koumassi 1 (228,57 ± 12,21 Bq/kg) et de Marcory (198,91 ± 9,46 Bq/kg). Cependant, aucune variation saisonnière de la contamination en plomb-210 des sédiments des baies d'Abidjan n'a été observée. Nous souhaitons étendre cette étude à d'autres matrices aquatiques.*

Mots- clés*: Baies, plomb 210, spectrométrie alpha, variation saisonnière*

Abstract : Evaluation of the radioactive nature of sediments in the bays of the ebrie lagoon of Abidjan, Ivory Coast*. In Côte d'Ivoire, lagoons represent the transit point for the majority of continental inputs. They are therefore increasingly vulnerable and their ecological balance is rapidly modified under the influence of certain natural or anthropogenic factors. The objective of this study is to assess the level of lead-210 presence in sediments. The sediments were sampled during the campaigns of the National Water Quality Observation Network on the bays distributed over thirteen study sites. The alpha spectrometry analysis was carried out in three stages (mineralization with concentrated acids, self-deposition on a silver disc, counting in an alpha detector with a silicone surface barrier). The highest lead-210 activities were obtained in the bays of Koumassi 1 (228.57 ± 12.21 Bq/kg) and Marcory (198.91 ± 9.46 Bq/kg). However, no seasonal variation in lead-210 contamination of Abidjan bay sediments was observed. We wish to extend this study to other aquatic matrices.*

Key words: Bays, lead 210, alpha spectrometry, seasonal variation

Introduction

Avec l'évolution du temps, il devient de plus en plus nécessaire de s'intéresser de plus en plus à l'étude des écosystèmes marins et lagunaires à travers la détermination et la quantification des contaminants radioactifs toxiques résultant des activités humaines. À l'échelle de ces écosystèmes, les conditions influençant la précipitation, l'adsorption ou la désorption des éléments varient rapidement [**1**]. En Côte d'Ivoire, les lagunes représentent le point de transit de la majorité des apports continentaux. Elles deviennent ainsi de plus en plus vulnérables et leur équilibre écologique est rapidement modifié sous l'influence de certains facteurs naturels ou anthropiques tels que les eaux de lessivage des zones agricoles, les effluents et résidus industriels et les importants rejets de déchets urbains [**2**]. La détermination du ^{210}Pb par le ^{210}Po nous semble très importante car elle nous fournit des informations utiles sur l'état de la contamination radioactive des cours d'eau impactés par les activités humaines.

Ce travail vise à connaître pour la première fois l'activité du ^{210}Pb dans les sédiments des baies de la lagune Ébrié d'Abidjan (Côte d'Ivoire).

1. Matériel et méthodes

1.1. Site d'étude

Le système lagunaire est séparé de l'océan Atlantique par une barrière côtière sableuse de 8 km d'épaisseur. Il communique avec l'océan Atlantique de façon permanente depuis l'ouverture du canal de Vridi en 1950 (Figure 1). Le système lagunaire Ébrié est influencé à l'ouest par l'Agnéby et à l'est par les fleuves Comoé et Mé.

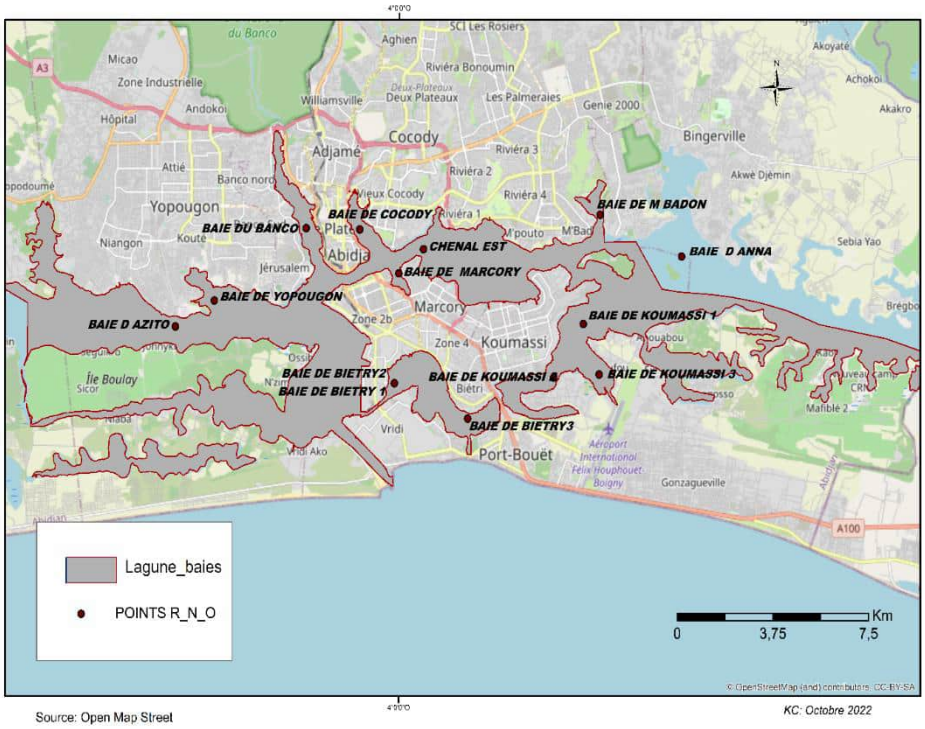


Figure 1. Sites d'échantillonnage des sédiments

1.2. Échantillonnage et traitement physique

Les échantillons ont été prélevés selon le calendrier défini dans le cadre des activités RNO-sédiments. Les prélèvements ont été effectués deux fois par an pendant les deux années consacrées à l'étude. L'échantillonnage a été réalisé aux mois d'avril et d'octobre, en raison des variations saisonnières, à l'interface eau-sédiments de la lagune Ébrié, sur une surface de 1 000 cm², à l'aide d'un prélèvement instantané. Les échantillons prélevés ont été séchés à l'étuve à 60 °C pendant 6 jours, puis broyés dans un mortier d'agar, tamisés à l'aide d'un tamis de 45 µm et conservés dans des flacons.

1.3. Détermination des activités du ^{210}Pb

La méthode utilisée dans cette étude est celle établie par le Centre national des sciences et techniques de l'énergie et du nucléaire de Rabat et utilisée par Béa et al. [**3**].

1.4. Analyse statistique

Les tests de Kruskal Wallis et de Mann Whitney ont été utilisés pour comparer les activités en ^{210}Pb obtenues dans les sédiments de la baie. Si $P < 0,05$, la différence est significative.

2. Résultats et discussion

2.1. Niveau de présence du ^{210}Pb dans les sédiments des baies d'Abidjan

Les résultats présentés dans les figures 2 à 4 montrent clairement que les différentes baies étudiées contiennent toutes le radioélément ^{210}Pb. Les activités du ^{210}Pb varient d'une baie à l'autre (figure 4). L'activité la plus faible est observée dans la baie de Koumassi 3 (30,91 ± 3,43 Bq/kg), tandis que la valeur la plus élevée est obtenue dans la baie de Koumassi 1 (228,57 ± 12,21 Bq/kg).

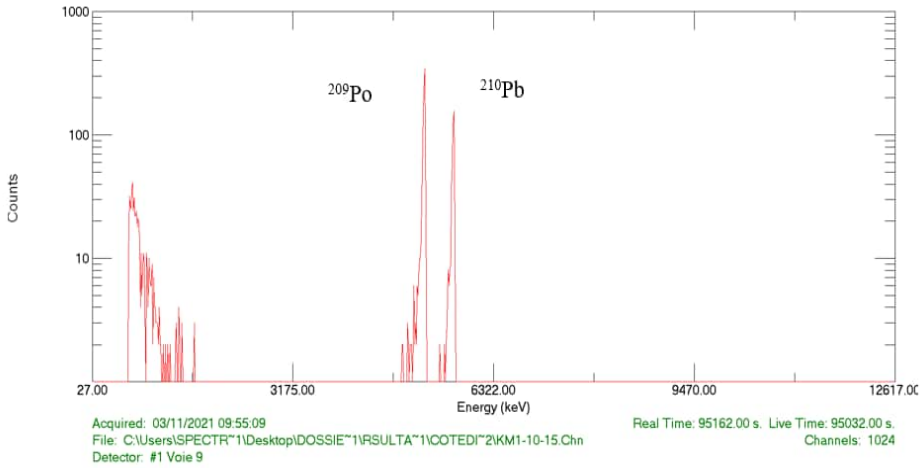


Figure 2. Spectres d'émission alpha des traceurs ^{209}Po et ^{210}Pb dans le sédiment KM1

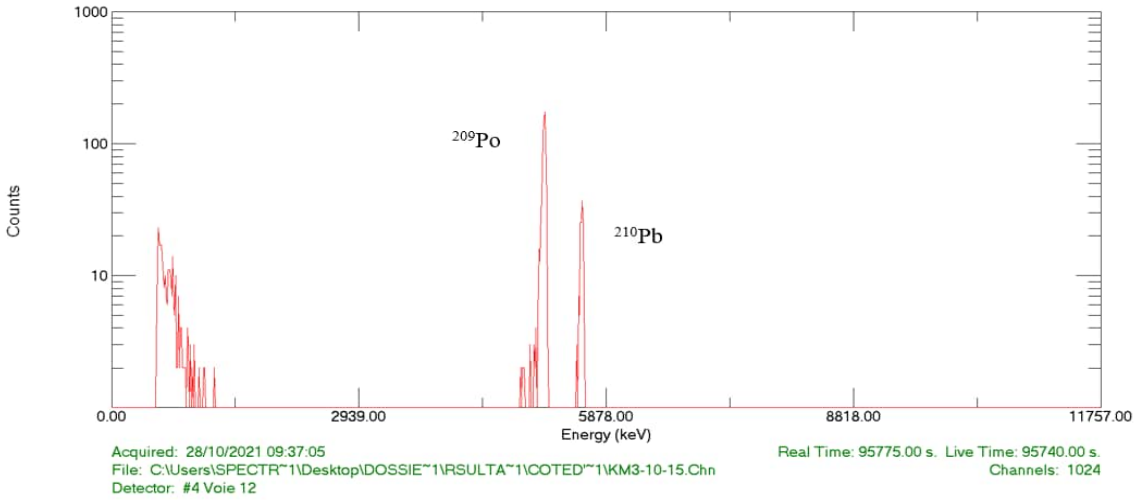
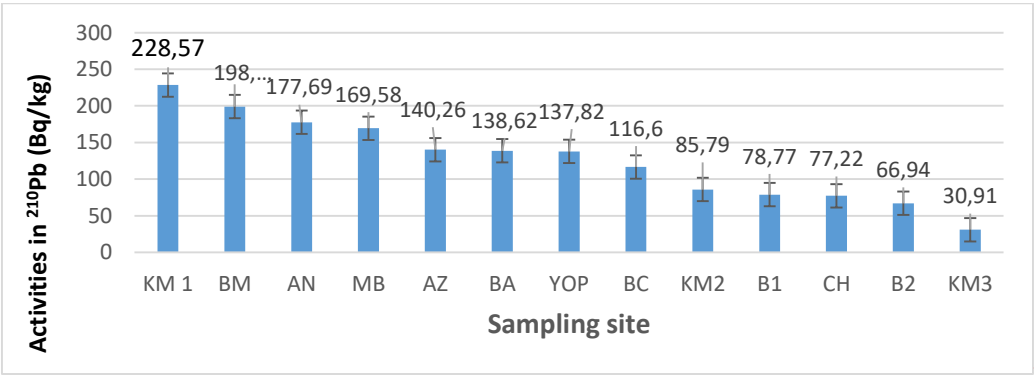


Figure 3. Spectres d'émission alpha des traceurs ^{209}Po et ^{210}Pb dans le sédiment KM3



KM1 : Baie de Koumassi 1 ; BM : Baie de Marcory ; AN : Anna Bay ; MB : Baie de M'Badon ; AZ : Baie d'Azito ; BA : Banco Bay ; YOP : Baie de Yopougon ; C.-B. : baie de Cocody ; KM2 : Baie de Koumassi 2 ; B1 : Biétry 1 Baie ; CH : Baie Chenal Est; B2 : Baie de Biétry 2 ; KM3 : Koumassi 3 Baie

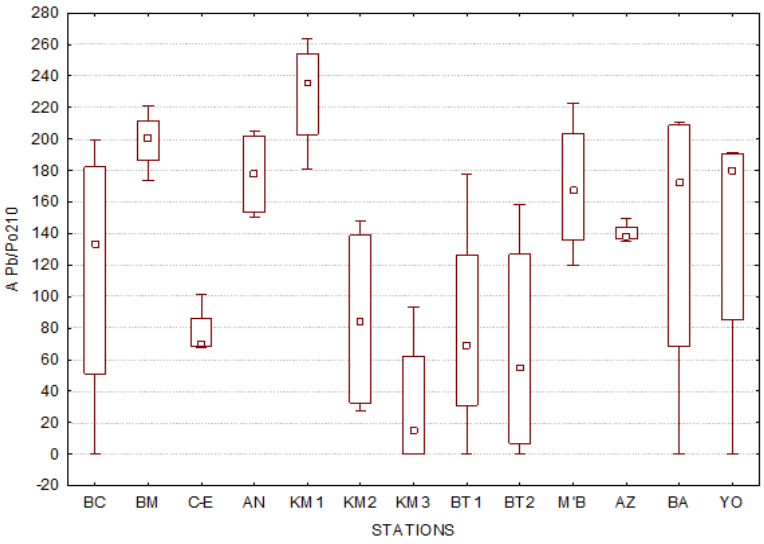
Figure 4. Activité du ^{210}Pb dans les sédiments des baies

En Côte d'Ivoire, très peu d'études ont été menées sur le ^{210}Po et le ^{210}Pb dans les sédiments. Nos résultats montrent clairement que la lagune Ébrié est sujette à une contamination par les radionucléides ^{210}Po et ^{210}Pb issus de la chaîne de désintégration de l'uranium 238. La contamination des sédiments des baies de la lagune Ébrié observée dans notre étude résulterait de la combinaison de facteurs naturels et anthropiques tels que les déchets agricoles, pétroliers,

miniers, cimentiers et ménagers. Selon Miralles [**4**], le plomb est apporté par les dépôts atmosphériques et par le ruissellement dans le milieu marin.

2.2. Variation spatiale de la contamination en ^{210}Pb des sédiments des baies d'Abidjan

La figure 5 décrit la variation spatiale de la contamination en ^{210}Pb dans les sédiments des baies d'Abidjan. Le test de Kruskal Wallis réalisé montre une différence significative ($p < 0,05$) dans la variation du ^{210}Pb dans les sédiments des baies d'Abidjan.



KM1 : Baie de Koumassi 1 ; BM : Baie de Marcory ; AN : Anna Bay ; MB : Baie de M'Badon ; AZ : Baie d'Azito ; BA : Banco Bay ; YOP : Baie de Yopougon ; C.-B. : baie de Cocody ; KM2 : Baie de Koumassi 2 ; B1 : Biétry 1 Baie ; CH : Baie Chenal Est; B2 : Baie de Biétry 2 ; KM3 : Koumassi 3 Baie

Figure 5. Variation spatiale de la contamination en 210Pb des sédiments de différentes baies

Selon le test de Man Withney ($p < 0,05$), la valeur médiane de ^{210}Pb est plus élevée dans les sédiments de la baie du Km1 par rapport à celle des sédiments de la baie du Km3. L'activité la plus faible est obtenue au niveau de la baie de Koumassi 3 avec une valeur moyenne de 30,91±3,43 Bq/kg. Quant à la baie de Koumassi 1, elle a enregistré l'activité la plus élevée (228,57±12,21 Bq/kg). Ces résultats montrent d'une part que les baies de Koumassi 1 et de Marcory qui affichent une forte activité en ^{210}Pb recevraient durant ces années d'étude des effluents d'industries telles que NORME et TENORM situées dans la zone sud d'Abidjan. En revanche, Koumassi 3 située dans la même zone est moins contaminée en ^{210}Pb; ceci pourrait s'expliquer par le fait que cette dernière baie qui reçoit les effluents industriels et les déchets domestiques [**5**] est constamment soumise à des activités de dragage et de remblayage.

2.3. Comparaison saisonnière du niveau de contamination en ^{210}Pb dans les sédiments des baies d'Abidjan

Le test de Kruskal Wallis réalisé indique que les variations de la contamination en ^{210}Pb des sédiments des baies d'Abidjan ne sont pas significatives d'une saison à l'autre ($p > 0,05$) (figure 6).

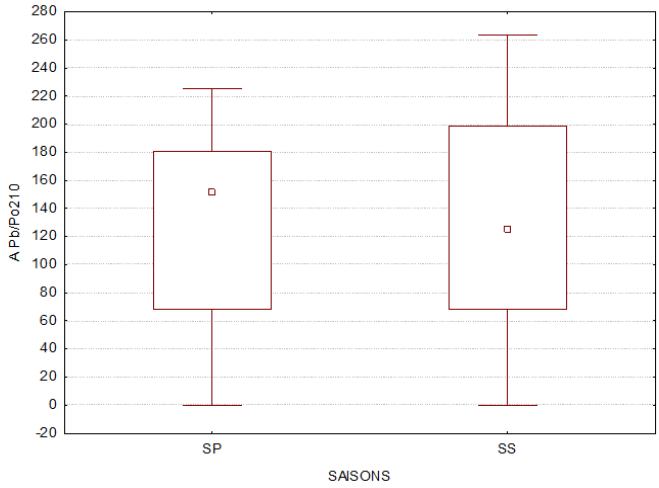


Figure 6. Comparaison saisonnière du niveau de contamination en ^{210}Pb dans les sédiments des baies

La contamination en ^{210}Pb des sédiments des baies d'Abidjan n'est pas significative d'une saison à l'autre. Ceci indique que les saisons climatiques n'ont aucune influence sur la variation de la contamination en ^{210}Pb des sédiments des baies du district d'Abidjan. De plus, les conditions météorologiques durant ces deux années ont été favorables, empêchant le transport du plomb par ruissellement dans le milieu marin.

Au vu de l'ensemble de ces résultats, il convient de noter que la qualité environnementale des sédiments des baies lagunaires d'Abidjan pourrait être davantage dégradée. En effet, l'apport important et incessant de déchets industriels et domestiques dans la lagune Ébrié ne cesse d'augmenter au fil des années en raison du développement des activités industrielles et de l'augmentation de la population [**5**]. Aussi, l'utilisation d'intrants chimiques issus des roches phosphatées impacte fortement ces baies.

Conclusion

Ce travail de recherche contribue à l'évaluation du niveau de contamination du système lagunaire d'Abidjan (Côte d'Ivoire) en radioéléments (^{210}Pb) de 2015 à 2016. À cet effet, le radioélément ^{210}Pb a été analysé chimiquement afin de mettre en évidence son activité contenue dans les sédiments du système lagunaire. D'après les résultats obtenus, tous les échantillons analysés contiennent, entre autres, des activités significatives en ^{210}Pb. Ceci nous a permis d'évaluer la contamination en ^{210}Pb des sédiments de la lagune Ébrié. La valeur d'activité la plus élevée a été trouvée dans les sédiments de la baie de Koumassi 1 (228,57 ± 12,21 Bq/kg) à proximité de la zone industrielle et la plus faible dans les sédiments de la baie de Koumassi 3 (30,91 ± 3,43 Bq/kg). Cependant, aucune variation saisonnière de la contamination en ^{210}Pb des sédiments des baies d'Abidjan n'a été observée.

Nous souhaitons étendre cette étude à l'ensemble des matrices du milieu aquatique.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et le Centre national de l'énergie, des sciences et des technologies nucléaires (CNESTEN) de Rabat (Maroc) pour leur soutien indéfectible.

Bibliographie

Deconinck J.N., Bernat M. et Chassefière B., 1983: Study of isotopes of U, Th and ^{210}Pb Radioisotopes in the sediments of the Canet pond (Pyrénées-Orientales). *Oceanologica Acta,* **6**(2), 131-138.

Kouassi A.M., 2005: Hydrochemistry and water quality of two tropical lagoons on the Ivory Coast (Ebrié, Grand-Lahou). Doctoral thesis, University of Cocody (Ivory Coast), 242 pages.

Bea G.T., Dangui D., Ouffoué K.S., Ngohang F.E., Abdelmourhit L., Yapo O.B. et *al.*, 2022: Study of the transfer of Polonium 210 and total Lead from soil treated with herbicide to food crops. *RAMReS Structural and Material Sciences*, **6**(2), 137-156.

[iralles J., Radakovitch O. et Aloisi J.C., 2005: ^{210}Pb sedimentation rates from the North western Mediterranean margin. *Marine Geology*, **216**, 155-167.

Kouamé K. D., Yapo O. B. et Méité L., 2016: Contamination of the Sediments of a tropical urban lagoon by metallic trace elements (As, Cd, Cr, Pb, Zn): Case of the lagoon bays of the city of Abidjan (Ivory Coast). *International journal of pure and appliedbioscience,* **4**(6), 204-217.

ETAT DES LIEUX DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES A L'ERE DE LA DECENTRALISATION DANS LA COMMUNE DE NATITINGOU AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

OYENIRAN Rosalie[1], ASSABA Hogouyom Martin[2] VISSIN Expédit W,

1. Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LABEE) ; Université d'Abomey-Calavi, E-mail : martinassaba@gmail.com

2. Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin, E-mail : oyeniran.tino@gmail.com; exlaure@gmail.com;

Résumé : *L'eau rend la vie possible, soutient les écosystèmes et les entreprises de l'homme en général. Cette étude dresse un état des lieux des infrastructures hydrauliques dans la Commune de Natitingou à l'ère de la décentralisation. Une démarche méthodologique mixte a été adoptée : des enquêtes de terrain ont été menées auprès des ménages et les gestionnaires des ouvrages d'eau, complétées par des entretiens semi-directifs et une recherche documentaire. Les résultats révèlent qu'avant la décentralisation, les sources d'eau de consommation utilisées par les populations de la Commune de Natitingou sont les eaux de surface, les puits à grand diamètre, les puits artisanaux puis les Barrages. Mais, à l'ère de la décentralisation, on note l'installation d'autres infrastructures hydrauliques plus. Les forages sont adoptés par 34 % des ménages interrogés.*

Mots clés *: Commune de Natitingou, infrastructures hydrauliques, décentralisation, eau potable*

Abstract: *Water makes life possible, sustains ecosystems, and supports human activities in general. This study provides an overview of water infrastructure in the Municipality of Natitingou in the era of decentralization. A mixed-methods approach was adopted : field surveys were conducted among households and water facility managers, complemented by semi-structured interviews and a literature review. The results reveal that before decentralization, the sources of drinking water used by the population of Natitingou were surface water, large-diameter wells, artisanal wells, and dams. However, in the era of decentralization, additional water infrastructures have been installed. Boreholes are now used by 34% of the surveyed households.*

Keywords: Municipality of Natitingou, water infrastructure, decentralization, drinking water.

Introduction

L'eau est la plus vitale des ressources naturelles. Elle rend la vie possible, soutient les écosystèmes et les entreprises de l'homme (L. ODOULAMI, 2009, p.19). C'est une ressource limitée et vulnérable, indispensable à la vie, au développement et à l'environnement. Tous les efforts doivent être consentis pour obtenir une eau de boisson aussi saine que possible (OMS, 2021, p.12).

Cependant, l'eau douce ne représente que 2,5 % des réserves mondiales d'eau. Sur cette quantité d'eau douce, près de 70 % se trouvent soit piégés sous les calottes glaciaires, ou disséminés sous forme d'humidité ou de vapeur (MEE, 2008, p. 9). Cette pénurie d'eau affecte 40 % des habitants de la planète et elle devrait augmenter (ONU, 2017, p.50). Par ailleurs, l'eau douce, un élément du système naturel, est indispensable à toutes les formes de vie. Elle doit être présente en grandes quantités et en qualité acceptable pour la plupart des activités humaines. C'est dans ce contexte que l'assemblée générale de l'Organisation des Nations Unies du 28 juillet 2010, reconnaissait officiellement que « le droit à l'eau potable est un droit fondamental, essentiel à la pleine jouissance de la vie et à l'exercice de tous les droits de l'homme » (A. R. ZODEKON, 2023, p.12). La vague de décentralisation des années 1990 n'a pas été sans incidence sur l'organisation des services collectifs locaux. Dans le domaine de l'eau et de l'assainissement, les décentralisations ont contribué au renouvellement des cadres institutionnels en appelant à une redistribution des responsabilités favorable aux collectivités territoriales. C'est au cours de cette période qu'un grand nombre de pays ont engagé le transfert des compétences de maîtrise d'ouvrage des services aux communes ; cela se traduisant par une

reconnaissance de l'autonomie de décision des communes dans l'exercice de certaines tâches (supervision des marchés publics, suivi des travaux, etc.) (AFD, 2012, p.7).

1. Présentation du milieu d'étude

La présente recherche est menée dans la Commune de Natitingou qui est située au Nord-Ouest du Bénin et au Centre du département de l'Atacora. D'une superficie de 3 045 km^2, soit 12,8 % de la superficie totale du département (Mairie de Natitingou, 2023, p.11), la Commune de Natitingou est localisée entre 10°1'03'' et 10°22'57'' de latitude Nord et entre 1°15'02'' et 1°37'40'' de longitude Est.

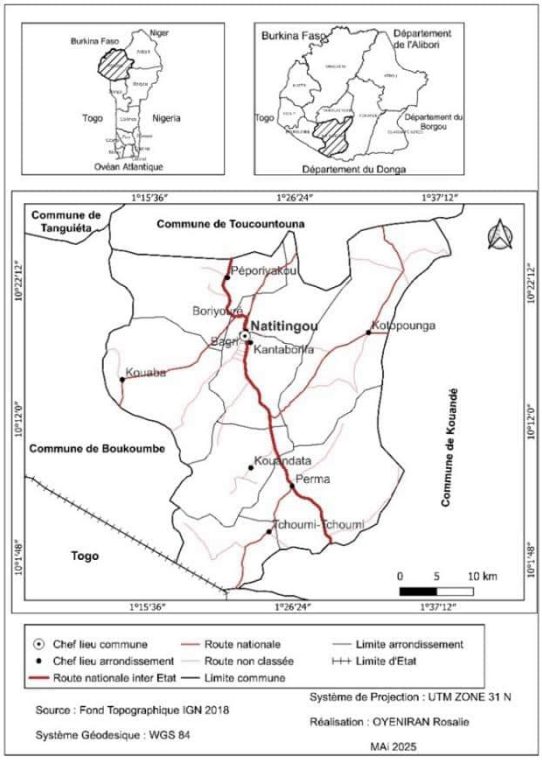


Figure 1 : Situation géographique du milieu d'étude

2. Approche méthodologique

2.1. Données collectées

Les données utilisées pour le compte de cette étude concernent les données démographiques (collectées à l'INStaD), les données socio-économiques (relatives aux informations qui sont issues des enquêtes de terrain).

2.2. Techniques de collecte des données

Dans le cadre de cette étude, plusieurs techniques complémentaires ont été mobilisées afin d'obtenir des données fiables. D'abord, une recherche documentaire a été effectuée. Elle a consisté en l'analyse de documents officiels tels que les rapports communaux de développement, les plans stratégiques du secteur eau, les textes de loi relatifs à la décentralisation, ainsi que les travaux antérieurs (mémoires, thèses, articles scientifiques) traitant de la gestion de l'eau.

Ensuite, une enquête de terrain a été conduite afin de recueillir des données empiriques avec un échantillon raisonné pour le choix des personnes à interroger et des zones à étudier. Compte tenu de l'étendue du territoire communal et des disparités d'accès à l'eau entre les milieux

urbain et rural, des localités représentatives ont été sélectionnées dans différents arrondissements. Le tableau suivant présent le nombres de personnes interrogées par localité.

Tableau I : Nombre de personnes interrogées par localité

Communes	Effectif Total des ménages	Effectif total des populations	Effectifs des chefs ménages interrogés	Proportion (%)
KOTAPOUNGA	2 437	17 420	37	17,05
KOUABA	1 285	7 245	15	6,91
KOUANDATA	870	4 915	10	4,60
PERMA	2 795	15 323	32	14,74
TCHOUMI-TCHOUMI	884	5 656	11	5,06
NATITINGOU I	2 237	12 309	26	11,98
NATITINGOU II	2 132	11 551	24	11,05
NATITINGOU III	4 151	22 011	46	21,19
NATITINGOU IV	981	7 413	16	7,37
Total	**17 772**	**103 843**	**217**	**100**

Source : Résultats d'enquêtes de terrain, janvier 2025

Ainsi donc, 217 chefs ménages sont retenus et interrogés dans la Commune de Natitingou.

2.4. Méthodes de traitement des données

Un dépouillement manuel et minutieux des fiches d'enquête est fait. Les résultats issus de ce dépouillement constituent une partie de la base de données. Les données statistiques recueillies à l'INStaD, au service hydraulique et à la Mairie sont complétées dans la base de données. C'est à partir de cette base que le traitement et l'analyse sont faits. Ainsi, à l'aide du tableau Excel 2016, des figures et tableaux sont réalisés. Les textes ont été traités à l'aide du logiciel Word 2016.

3. Résultats

3.1. Typologie des infrastructures d'eau de consommation dans la Commune de Natitingou

Cette rubrique a permis de faire l'inventaire des sources d'eau de consommation dans la Commune de Natitingou avant et après la décentralisation.

3.1.1. Etat des lieux des types d'infrastructures d'eau de consommation avant la décentralisation

Les informations recueillies lors des travaux de terrain ont permis de savoir que quatre types de sources d'eau de consommation étaient utilisées par les habitants de la Commune de Natitingou, à savoir : les puits à grand diamètre, les puits artisanaux, les pompes/forages et les barrages (tableau I).

Tableau II : Sources d'eau de consommation dans la Commune de Natitingou en 2002

Arrondissements	Puits à grand diamètre	Puits artisanaux	Pompe (forage)	Barrage
KOTAPOUNGA	4	5	14	0
KOUABA	4	4	17	0
KOUANDATA	2	6	18	0
PERMA	3	5	13	1
TCHOUMI-TCHOUMI	3	2	8	0
NATITINGOU I	0	0	0	0
NATITINGOU II	0	0	0	0
NATITINGOU III	0	0	0	0

NATITINGOU IV	3	40	7	0
Total	**19**	**62**	**77**	**1**

Source : *DST de la Mairie de Natitingou, 2002*

Il ressort de l'analyse du tableau I que sur toute l'étendue du territoire de la Commune de Natitingou, l'ensemble des puits à grand diamètre s'élevait à dix-neuf (19) contre soixante-deux (62) puits artisanaux, soixante-dix-sept (77) pompes/forages et un (01) barrage. Mais, il est à notifier qu'aucun arrondissement urbain (Natitingou I, Natitingou II et Natitingou III) ne dispose d'aucune de ces infrastructures. Car, l'approvisionnement en eau de consommation dans ces arrondissements était assuré uniquement par la Société Nationale d'Eau du Bénin (SONEB).

3.1.2. Types d'infrastructures d'eau potable depuis l'ère de la décentralisation

Depuis l'avènement de la décentralisation en 2003 au Bénin, plusieurs infrastructures hydrauliques ont été érigées dans la Commune de Natitingou pour permettre à la population de s'approvisionner en eau potable (tableau II).

Tableau III : Types d'ouvrages hydrauliques disponible à l'ère de la décentralisation

Arrondissements	**FPMH**	**PM**	**AEV**	**BF**
KOTAPOUNGA	42	10	2	23
KOUABA	46	10	0	0
KOUANDATA	49	2	1	7
PERMA	49	8	3	24
TCHOUMI-TCHOUMI	21	6	0	0
NATITINGOU I	11	3	0	0
NATITINGOU II	16	2	0	0
NATITINGOU III	48	5	0	0
NATITINGOU IV	22	4	1	9
Total	**304**	**50**	**7**	**63**

Source : *DST de la Mairie de Natitingou, 2024*

Il ressort de l'analyse du tableau II que de 2003 à 2024, la Commune a bénéficié de la réalisation de 304 FPMH sur son territoire dont 42 dans l'Arrondissement de Kotapounga, 46 à Kouaba, 49 à Kouandata, 49 à Perma, 21 à Tchoumi-Tchoumi, 11 à Natitingou I, 16 à Natitingou II, 48 à Natitingou III et 22 à Natitingou IV. Pour ce qui est des PM, cinquante (50) ont été réalisées dans toute la Commune dont 10 dans l'Arrondissement de Kotapounga, 10 à Kouaba, 2 à Kouandata, 8 à Perma, 6 à Tchoumi-Tchoumi, 3 à Natitingou I, 2 à Natitingou II, 5 à Natitingou III et 4 à Natitingou IV. Quant aux AEV, seulement les Arrondissements de Kotapounga (02), Kouandata (1), Perma (3) et Natitingou IV (01) en ont bénéficié. Soit, 7 AEV réalisées à travers les neuf (09) Arrondissements de la Commune.

Les BF construites dans la Commune de Natitingou pour soulager l'accès des populations à l'eau potable depuis l'ère de la décentralisation en 2003 s'élève à 63 réparties dans quatre (23) Arrondissements, à savoir : Kotapounga (07), Kouandata (1), Perma (24) et Natitingou IV (09).

Mais, il est à noter que la fourniture d'eau potable est assurée par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) dans les quartiers urbains selon les critères de l'INSAE et le relais est pris par l'Agence Nationale d'Approvisionnement en Eau Potable en Milieu Rural (ANAEPMR).

3.1.3. Types d'ouvrages hydrauliques adoptés par le ménage

Les travaux de terrain ont permis d'évaluer la proportion des populations selon leur source d'approvisionnement en eau de consommation dans la Commune de Natitingou. La figure 2 présente la proportion des ménages en fonction du type d'ouvrage hydraulique adopté.

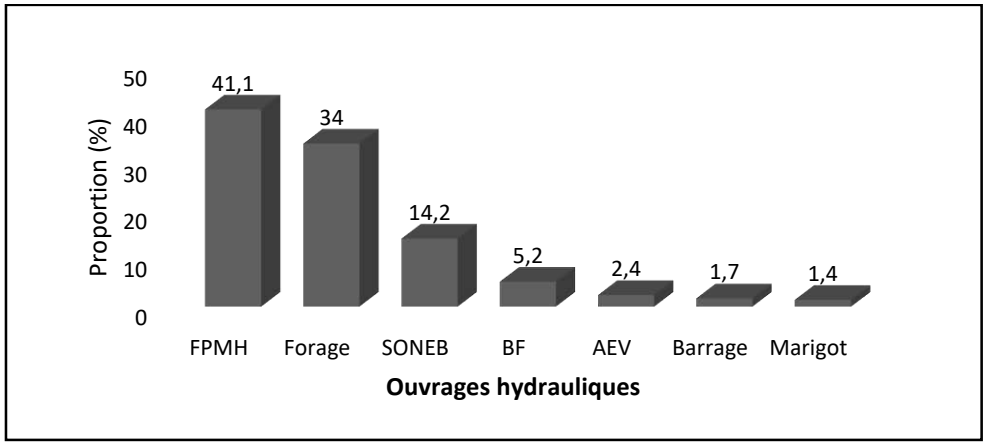


Figure 2 : Proportion des ménages en fonction du type d'ouvrage hydraulique adopté
Source : Résultats d'enquêtes de terrain, février 2025

Il ressort de l'analyse de la figure 35 que 41,1 % des ménages interrogés ont adopté les FPMH comme leur source d'approvisionnement en eau de boisson dans la Commune de Natitingou. Ce qui fait de cette source d'eau, la plus utilisée par les populations dans le secteur de recherche. Les forages sont adoptés par 34 % des ménages interrogés. Quant aux eaux de la SONEB, elles sont adoptées par 14,2 % des ménages. Les BF et les AEV sont adoptées respectivement par 5,2 % et 2,4 % des ménages. Mais, hormis ces sources d'approvisionnement qui sont considérées comme des sources d'eau propices à la consommation, les eaux des barrages et des marigots continuent d'être consommées par les populations du milieu de recherche avec respectivement 1,7 % et 1,4 % des ménages interrogés. Ce qui indique que toutes les localités de la Commune de Natitingou ne sont pas encore couvertes en infrastructures hydrauliques convenables.

3.2. Discussion

L'état des infrastructures hydrauliques dans la commune de Natitingou, à l'ère de la décentralisation, reflète les avancées et les défis liés à la gestion locale des services d'eau potable. Depuis l'adoption de la politique de décentralisation au Bénin, les communes, dont Natitingou, sont devenues responsables de la fourniture et de la distribution de l'eau aux ménages, de la gestion des ouvrages et de la protection de la ressource. Cette même remarque a été faite par (Anziani-Vente, Morgane, 2019, p.2), ou il a affirmé que le Bénin est un pays décentralisé d'Afrique ayant délégué la responsabilité de ce service aux communes depuis 2003. Cette délégation signifie que les communes sont chargées de la fourniture et de la distribution de l'eau aux ménages, de la gestion des ouvrages et de la protection de la ressource. Cependant, des défis persistent, notamment en ce qui concerne la durabilité des ouvrages et la gestion efficace des ressources en eau. Une approche intégrée, combinant renforcement des capacités locales, investissements dans les infrastructures et participation communautaire, est essentielle pour garantir un accès durable à l'eau potable dans la commune de Natitingou.

Conclusion

Au terme de cette étude, il faut retenir que les caractéristiques physiques, humaines, économiques et sociales de la Commune de Natitingou sont favorables à l'implantation et à la gestion des infrastructures d'eau potable. Les informations recueillies au cours de cette recherche ont permis de caractériser la typologie des infrastructures d'eau de consommation dans la Commune de Natitingou. Ce qui a permis d'identifier les sources d'eau de consommation dans cette commune avant et après la décentralisation. En effet, avant la décentralisation, les sources d'eau de consommation utilisées par les populations de la Commune de Natitingou sont les eaux de surface, les puits à grand diamètre, les puits artisanaux

puis les Barrages. Mais, à l'ère de la décentralisation, on note l'installation d'autres infrastructures hydrauliques plus modernes comme les Forages équipés de Pompes à Motricité Humaine (FMPH), les Adductions d'Eau Villageoise (AEV), les Bonnes Fontaines (BF), les Forages et l'extension du réseau de la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB).

Remerciements

Les auteurs expriment leur profonde gratitude à la Direction Départementale de l'Eau de l'Atacora pour leur collaboration et la mise à disposition des données nécessaires à cette étude. Nos remerciements vont également à tous les agents communaux et aux populations locales ayant accepté de participer aux enquêtes de terrain. Enfin, nous saluons l'appui technique du Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Bibliographie

AFD,2012 : Décentralisation et services d'eau potable et d'assainissement : Quelles stratégies de renforcement des communes pour l'accès aux services ? Rapport de l'Atelier-Débat Contreauverses des 30 et 31 août 2011 Une initiative du Gret et de l'AFD, 79 p.

Anziani-Vente, Morgane,2019 : L'enjeu des stratégies des acteurs locaux pour l'accès à l'eau potable à Nikki, Bénin. *L'accès à l'eau en Afrique*, édité par David Blanchon et Barbara Casciarri, Presses universitaires de Paris Nanterre, pp. 27-41.

Mairie de Natitingou (2023) : Plan de Développement Communal, 4ème génération (PDC 4) 2024-2028 de la Commune de Natitingou, 275 p.

MEE, 2008 : Politique nationale de l'eau, version définitive, 51p.

ODOULAMI Léocadie, 2009 : La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin), Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey Calavi, Bénin, 230 p.

ONU/Eau, 2017 : Guide pour le suivi intégré de l'objectif de développement durable 6 concernant l'accès à l'eau et l'assainissement. Cibles et indicateurs mondiaux version 14-07 2017, 108 p.

ZODEKON Ayéman René,2023 : Gestion des services publics d'eau potable dans un contexte de la dynamique hydroclimatique dans la commune de Dassa-Zoumé au Bénin. Thèse de doctorat en Géographie (EDP-ECD/UAC), 218 p.

ANALYSE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET DE L'EVOLUTION DE LA SECHERESSE DANS LES PLAINES COTIERES SEMI-ARIDES (SUD-OUEST DE MADAGASCAR)

Martial Anjarasoa RAKOTONJANAHARY[1], Hery Nantenaina RAVANOMANANTSOA[2]

[1] *UMR 5115 LAM - Les Afriques dans le Monde, Université Bordeaux Montaigne (France), Université de Toliara (Madagascar), anjarasoa-martial.rakotonjanahary@etu.u-bordeaux-montaigne.fr*

[2] *Université de la Réunion (France) et Université de Toliara (Madagascar) ravanomanantsoahery@gmail.com*

***Résumé** : La recherche porte sur les analyses de variabilité pluviométrique et de progression chronologique de la sécheresse dans les plaines côtières semi-aride de la région Sud-ouest de Madagascar, depuis les quatre dernières décennies. La méthodologie adoptée repose sur les analyses des données pluviométriques à partir de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI), à l'échelle temporelle de 12 mois sur une période allant de 1982 à 2022. Les résultats révèlent des variabilités de la pluviométrie avec une diminution de la moyenne annuelle depuis les dernières années. Les bilans de SPI-12 indiquent les sécheresses plus fréquentes à partir de 1982-1997 puis, 2016 – 2022, avec des successions d'années sèches pouvant couvrir 4 à 6 années.*

***Mots-Clés** : Variabilité pluviométrique ; Sécheresse ; SPI ; Sud-Ouest de Madagascar*

***Abstract : Analysis of rainfall variability and of drought evolution in semi-arid coastal plains (South-West of Madagascar)** The research focuses on analyses of rainfall variability and the chronological progression of drought in the semi-arid coastal plains of Madagascar's south-western region, over the last four decades. The methodology adopted is based on analyses of rainfall data using the Standardized Precipitation Index (SPI), on a 12-month time scale over the period from 1982 to 2022. The results reveal variability in rainfall, with a decrease in mean annual rainfall in recent years. The SPI-12 balances show more frequent droughts from 1982-1997 and then, 2016 - 2022, with successions of dry years that can span 4 to 6 years.*

***Keywords**: Rainfall variability; Drought; SPI; Southwest Madagascar*

Introduction

Madagascar est l'un des pays les plus exposés aux changements climatiques et aux phénomènes météorologiques extrêmes, comme les sécheresses, à l'échelle mondiale. Les parties sud sont gravement touchées, notamment la région sud-ouest (Broudic et Razafindrianilana, 2020). Cette dernière est naturellement caractérisée par le climat semi-aride et des températures élevées tout au long de l'année avec des précipitations très faibles et variables. Une étude très récente sur les impacts potentiels par rapport au niveau de réchauffement global de 1,5 ◦C et 2 ◦C montre que la région sud-ouest affiche la plus forte hausse de température avec la moyenne annuelle allant de 1,3 ◦C à 1,8 ◦C (Barimalala et al., 2021). Cette situation s'accorde avec le retard des précipitations et le raccourcissement de la saison des pluies avec une variabilité extrême dans le temps et dans l'espace, provoquant des sécheresses légères jusqu'à l'extrêmes (Rakotoarimanana et al., 2024).

Dans cette étude, notre objectif est d'identifier la variabilité pluviométrique et l'évolution de la sécheresse. Si les analyses du dérèglement climatique récentes se concentrent au niveau national et régional, il est question ici de comprendre les évolutions climatiques, notamment pluviométrique, et les sécheresses à l'échelle très locale, les plaines côtières semi-arides de la région sud-ouest.

1. Approche méthodologique

1.1. Présentation de la zone d'étude

La carte ci-dessous représente notre zone (Figure 1). Cette dernière se trouve dans la région Sud-ouest de Madagascar, plus précisément dans les zones pleines côtières nord de la région.

Elle est représentée par la basse vallée de Manombo, la basse vallée de Mangoky et les plaines de couloir d'Antseva jusqu'au littoral.

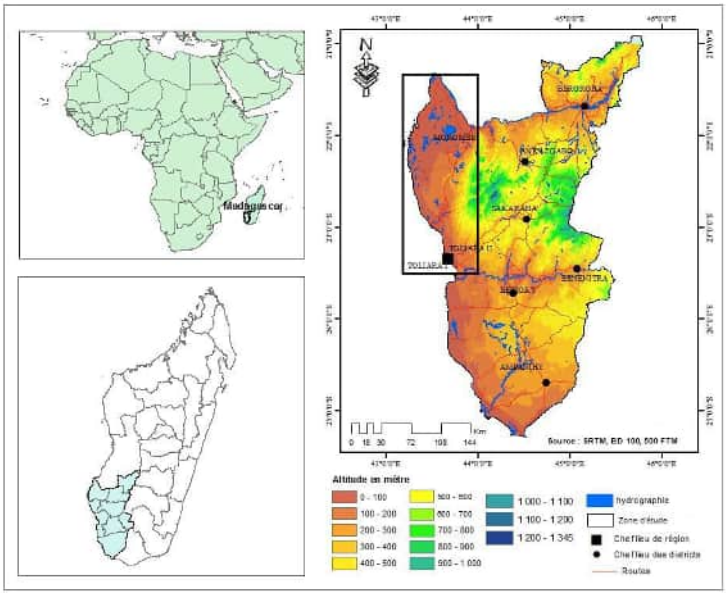


Figure 1 : Zone d'étude (Ravanomantsoa et Rakotonjanahary, 2024)

Ces zones sont dominées par les sols limono-sableux et alluvionnaires, très favorables à l'agriculture. Elles sont essentiellement occupées, sur le plan social, par l'ethnie *Masikoro (*environ 80 % de la population) et leur activité principale est l'agriculture, tant pluviale qu'irriguée. Les systèmes agricoles y sont très vulnérables face aux variabilités climatiques du fait de la nature du climat semi-aride (Figure 2), comme l'ensemble de la région sud-ouest.

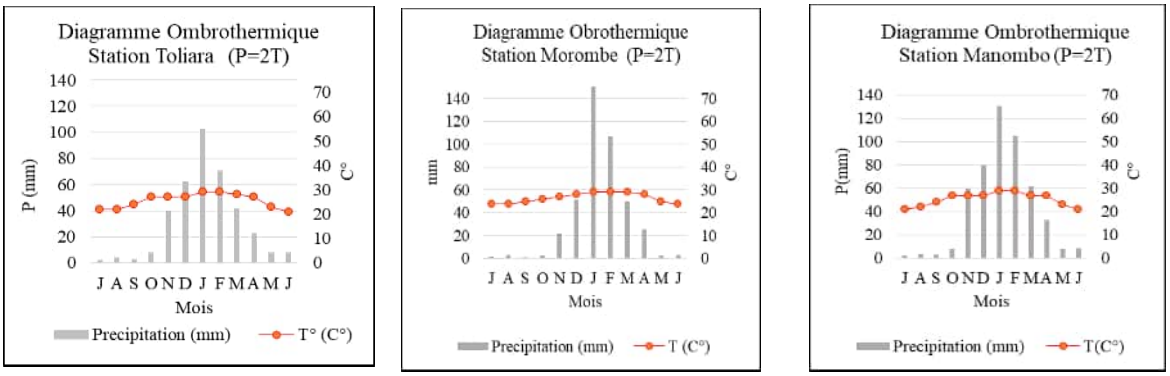


Figure 2 : Diagrammes Ombrothermiques des stations étudiées, montrant la semi-aridité

Source : CHIRPS et AgERA-5, Centre météorologique Toliara

Cette région est caractérisée par une pluviométrie moyenne annuelle comprise entre 500 et 900 mm, dont plus de 70 % tombent pendant la période humide (décembre à mars). La période sèche dure 7 à 8 mois/an et la température moyenne annuelle est comprise entre 23 et 25 °C (Figure 2). On utilise généralement les termes semi-aride et sub-aride pour décrire son climat. A cela s'ajoute le vent du sud « *Tsiok'Antimo* » qui favorise le phénomène d'asséchement.

1.2. Méthode et analyse de données

Les données climatiques des stations de Manombo (Lat : -22.8823, Long : 43.514), de Toliara (Lat : -23.2844, Long : 43.7238) et de Morombe (Lat : -23.3349, Long : 43.6814) ont été utilisées. Les données pluviométries considérées sont celles des 40 dernières années, de

1982 à 2022, sauf les données de la station de Toliara qui s'élèvent jusqu'à 1972. Faute de données complètes au sol, à part la station de Toliara, le recours aux données satellitaires (CHIRPS) via le site web d'estimations climatiques par satellite a été fait. De nombreuses études réalisées en Afrique ont mis en évidence de grandes similitudes entre les évaluations de ces deux sources et les informations au sol. Les données sont téléchargeables gratuitement via le lien : https://app.climateengine.com/climateEngine

L'analyse de la variabilité pluviométrique s'est basée sur les analyses simples sous Excel (2016). Comme les données satellitaires sont au pas de temps journalier, les calculs des moyennes mensuelles et annuelles, ainsi que de l''écart-type ont été réalisés sous Excel. Quant à l'évolution de la sécheresse, l'analyse de l'Indice Standardisé de Précipitation (SPI-12) a été utilisée. SPI, un indice combinant plusieurs indicateurs qui permettent de caractériser les sécheresses tant agricoles qu'hydrologiques. D'ailleurs, c'est une méthode couramment utilisée dans la zone aride comme la nôtre pour caractériser les sécheresses locales (McKee et al., 1993). Il répond à l'équation suivante : $SPI = (P - Pm)/\sigma p$

Où : P : précipitation totale d'une période (mm) ; Pm : précipitation moyenne historique d'une période (mm) et σp : écart-type historique des précipitations de la période (mm). Dont : entre 2 et plus : classifient l'extrêmement humide ; 1,5 à 1,99 : très humide ; 1 à 1,49 : humide ; -0,99 à 0,99 : Normal ; -1,5 à 1,99 : sévèrement sec ; – 2 et moins : extrêmes sec.

En ce qui concerne la sécheresse, il est toujours difficile de la définir parce que des différents facteurs se combinent pour l'expliquer. Nombres sont les définitions qui désignent ce terme, mais dans cette étude nous avons pris en considération la sécheresse météorologique. Selon Boken (2005), la sécheresse météorologique, également connue sous le nom de sécheresse atmosphérique, se manifeste par une diminution des précipitations. Il est important de mentionner que les changements d'utilisation de sol et quelques types des pratiques agricoles participent ou accélèrent le phénomène de sécheresses dans un lieu donné. Ce genre de sécheresses a donc un effet considérable sur le secteur agricole notamment.

2. Résultats et interprétations

2.1. Variabilité pluviométrique contrastée durant les quatre dernières décennies

La figure 3 ci-après illustre la variation des précipitations dans les trois lieux examinés. Ces observations soulignent la ressemblance entre ces trois lieux, malgré une différence notable en matière de volume de précipitations d'un site à un autre.

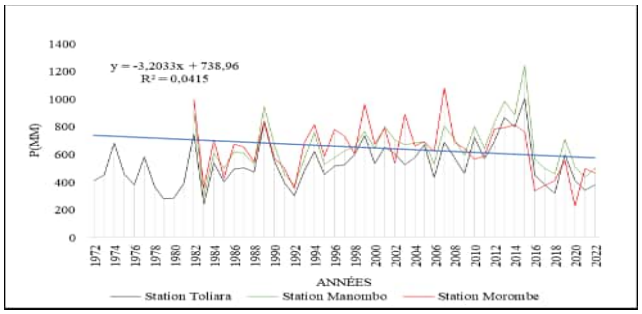


Figure 3 : Variabilité pluviométrique moyenne annuelle de 1982 à 2022

Source : CHIRPS, Centre météorologique Toliara

Dans un premier coup, ce résultat montre non seulement l'abondance des années inférieures à la normale (600 mm), mais aussi le caprice de la pluviométrie pouvant osciller de 299 mm à 1380 mm de l'année à l'autre. Dans l'ensemble, les évolutions de la pluviométrie sont nettement négatives entre l'intervalle de tempes étudiées. Des baisses pluviométriques sont bien plus marquées entre les années 1982, 1992 et 2016 jusqu'à 2022. L'année 1983 représente la moins

arrosée dont la pluviométrie moyenne est d'ordre de 299 mm, contre l'année 2015 représentant l'année la plus arrosée avec la précipitation moyenne de 1238 mm. Malgré tout, l'abondance excessive de la pluviométrie est souvent accompagnée des cyclones intenses pluvieux ou de la dépression tropicale dans cette zone. Ce fut le cas des années 2013 (983 mm) et 2014 (885 mm) puis 2015 (1238 mm). Par contre, à partir de l'année 2016 jusqu'actuellement, la tendance ne cesse de baisser et six années sur sept sont inférieures à la normale (2016 ; 2017 ; 2018 ; 2020 ; 2021 et 2022).

2.2. Anomalies pluviométriques contrastées

En ce qui concerne les variabilités pluviométriques interannuelles et en combinant les moyennes des trois sites étudiés, les figures (figure 04) suivantes représentent les anomalies constatées dans certaines années étudiées.

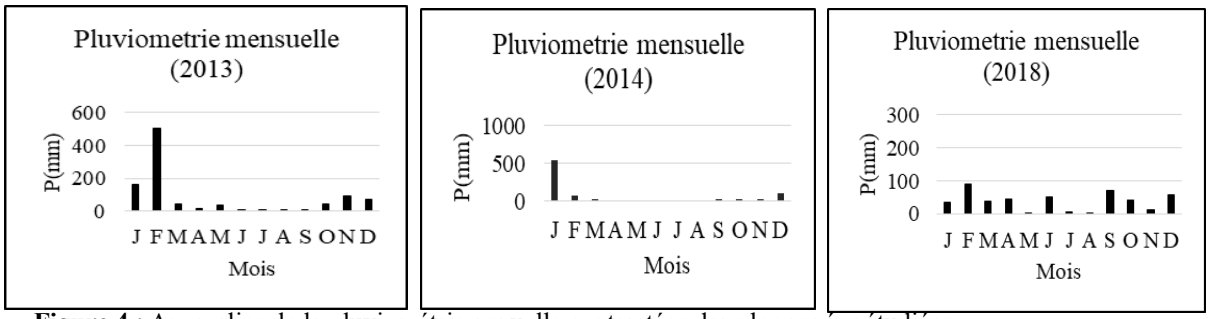


Figure 4 : Anomalies de la pluviométrie annuelle contrastées dans les années étudiées

Source : CHIRPS, Centre météorologique Toliara

En général, les précipitations tombent de plus de 60 % durant les saisons humides (décembre à mars) et les restes se répartissent dans des autres mois de l'année, dont certains mois comme ceux de juillet et d'aout ont reçu quasiment nulle de la pluviométrie annuelle. Par contre, depuis la dernière décennie, la variabilité extrême a été bien constatée. Cela se traduit par, dans le cas des années très humides, une concentration de la pluviométrie dans un seul mois, pouvant arriver à la moyenne de l'année. Les années 2014 et 2013 ont révélé ce phénomène avec respectivement 62 % de la pluviométrie annuelle tombent seulement au mois de janvier et 50 % de la pluviométrie annuelle tombent en un seul mois de février (année du cyclone Haruna, février 2013). Ce phénomène apporte souvent des conséquences négatives, provoque de l'inondation grave.

En ce qui concerne l'année la plus sèche, une anomalie a été constatée sur l'année 2018. Cette année, déjà très sèche, les pluviométries se répartissent quasiment les mêmes dans tous les mois. Les mois pluvieux (décembre, janvier, février et mars) enregistrent à peine 49 % de précipitation annuelle. En revanche, les mois considérés comme secs (avril à novembre) occupent 51 %. Dans ce cas, les pluviométries sont imprévisibles voire non ressenties et n'apportent que tant de problèmes sur le plan agricole, ce qui revient à dire que ce phénomène est inédit dans cette zone et méritant d'attention.

2.3. Evolution de la sécheresse récente observée

La figure 7 ci-après montre le résultat du SPI (moyenne des trois sites étudiés) évoquant les évolutions de la sécheresse depuis les quatre décennies dans les plaines côtières. Les données annuelles indiquent que le domaine d'étude a connu des sécheresses de plus en plus fréquentes, accompagnées de séries d'années sèches.

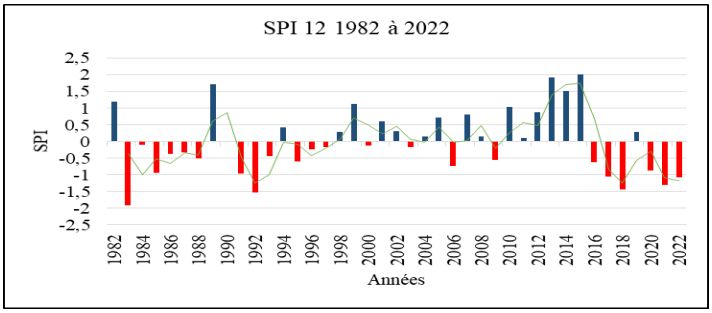


Figure 7 : SPI-12 de la moyenne des stations étudiées, de l'année 1982 à 2022

Source : CHIRPS, Centre météorologique Toliara

En analysant le SPI-12 (figure 7), les années dont l'indice est négatif représentent 55 %, soit au nombre de 22, dont 16 sont normalement secs, 04 modérément secs et 02 sévèrement secs. En revanche, les années normales sèches (-0,99 à 0,99) représentent 67,5 % et celles qui sont humides à extrêmement humides tiennent les 17,5 %, tandis que les années modérément sèches à sévèrement sèches représentent 15 %.

Les années 1983 à 1997 ont été marquées par la sécheresse de longue durée, malgré la présence des années humides isolées comme 1982, 1989, 1990 et 1994. Ces années humides n'auraient pas compensé les impacts des périodes sèches dominantes, vu que les années 1983 et 1992 ont montré une sécheresse sévère. Ce qui nous affirme les sécheresses bien installées. Par contre, les années 1998 à 2015 ont été bonnes, dont les années humides et extrêmement humides (2012, 2013, 2014 et 2015) ont été largement dominées en dépit de l'existence des périodes de la sécheresse modérée et isolée comme les années 2000, 2003, 2006, 2009 et 2011. En effet, ces années-là sont des années de référence de la période humide dans l'ensemble de la région Sud-ouest en général et dans les plaines côtières en particulier, depuis les quatre dernières décennies. Par contre, de nombreux cyclones intenses se sont passés durant ces périodes, à titre d'exemple Gafilo et Elita en 2004 ; Giovanna et Irina en 2012 et Haruna en 2013.

Entre l'année 2016 à 2022, soit les sept dernières années, les valeurs de SPI sont négatives sauf l'année 2019. Certes, en comparant avec les sécheresses de 1983 à 1997 qui étaient intenses et longues durées, celles-ci sont considérées comme moins intenses bien que les degrés de la sécheresse sont pratiquement normaux. Ils comprennent entre -0,61 (2016) et -1,43 (2018). Néanmoins, la sécheresse météorologique est d'ores et déjà réinstallée dans l'ensemble des plaines côtières.

3. Discussion

Les résultats de cette étude sont en accord avec les résultats de Rakotorimanana et al., 2024 à l'échelle de la région Sud-ouest. Ils ont avancé que, entre les années 1990 et 2022, les sécheresses légères sont les plus dominants contre les sécheresses extrêmes qui sont insignifiantes, dans les résultats de SPI-12. Et des sécheresses ont été signalées depuis les dernières années en l'occurrence des années 2020 et 2021. Ce qui est le cas dans les résultats de notre analyse à l'échelle des plaines côtières de cette région. Par ailleurs, selon l'Organisation Mondiale de la Météorologie (2022), l'année 2021 a également été marquée par un premier trimestre avec les plus basses pluviométries enregistrées depuis quatre décennies dans tout Madagascar (OMM, 2022). Ce phénomène a été nettement plus marqué dans le sud de l'île, où la sécheresse sévère continue de sévir, confirmant les sécheresses qui frappent les plaines côtières depuis les dernières années.

Avec la tendance de la hausse de température actuelle (Barimalala et al., 2021) accélérant l'évaporation, les pires sécheresses vont être envisageables dans les plaines côtières. Ce qui aura

des impacts encore plus graves, non seulement sur les ressources en eau de surface et souterraines, mais également sur les systèmes agraires et les écosystèmes forestiers.

Conclusion

Les variabilités pluviométriques annuelles et interannuelles frappent les plaines côtières du sud-ouest de Madagascar depuis ces dernières décennies. Celles-ci sont accompagnées par des sécheresses météorologiques qui se réinstallent depuis les dernières années, dont les pics se sont situés aux années 2018 et 2021.

Bibliographie

Barimalala R., Raholijao N., Pokam W., & Reason C. J. C., 2021: Potential impacts of 1.5 °C, 2 °C global warming levels on temperature and rainfall over Madagascar. *Environmental Research Letters,* 16**(4)**, 11. DOI: 10.1088/1748-9326/abeb34

Boken V.K., Cracknell A.P., Heathcote R. L., 2005: *Monitoring and Predicting Agricultural Drought.* Oxford: Oxford University Press, 472 pages.

Broudic C., Razafindrianilana., 2020 : Adaptation aux changements climatiques des populations rurales du sud-ouest de Madagascar. Diagnostic et perspectives. 56 pages.

McKee T.B., Doesken N.J et Kleist J., 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale. *8th Conference on Applied Climatology, 179-184.*

Organisation Météorologique Mondiale., 2022 : État du climat en Afrique 2021. N° 1300. 48 pages.

Rakotorimanana R.S., Ramahefy T.R., Randrianja S., 2024 : Caractérisation des Sécheresses de la Région d'Atsimo Andrefana de Madagascar via Standard Précipitation Index (SPI)). *European Scientific Journal, ESJ,* 20 **(9),** 34. *https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n9p34*

OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ENERGIE DU BARRAGE DE MANANTALI 2003-2023

Moussé Landing SANE[1], Didier Maria NDIONE[1], Issa LEYE1, Adolphe DIATTA[1], Mame Henriette SAMBOU[1], Ibrahima TOURE[1], Seïdou KANE[1] et Soussou SAMBOU[1]

[1] *Faculty of Sciences and Technology, Department of Physics, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Senegal, landingsane.sane@gmail.com ; dindionemaria@gmail.com*

Résumé : *Le barrage de Manantali, construit sur le Bafing, principal affluent du fleuve Sénégal, est un ouvrage à vocations multiples, notamment la production d'hydroélectricité et la régulation des débits. Géré par la SEMAF, il fait l'objet de cette étude couvrant la période 2003-2023, en prolongement des travaux menés de 1970 à 2000. En l'absence de Simulsen, un modèle a été développé pour simuler la production d'hydroélectricité et tester divers scénarios. Après calibration, des stratégies d'optimisation ont été proposées conformément aux objectifs de l'OMVS, visant une production annuelle moyenne de 807 GWh/an. Plusieurs simulations journalières ont permis d'identifier des scénarios performants. Les résultats, alignés sur les études antérieures, offrent des orientations pour une exploitation plus résiliente face aux changements climatiques.*

Mots clés *: Optimisation, Manantali, Barrage, Simulsen.*

Abstract: Optimization of Energy Production at the Manantali Dam (2003-2023). *The Manantali Dam, located on the Bafing River the main tributary of the Senegal River is a multipurpose infrastructure primarily dedicated to hydroelectric production and flow regulation. Managed by SEMAF, this study focuses on the 2003–2023 period, extending previous research conducted from 1970 to 2000. Due to the unavailability of Simulsen, the OMVS's primary simulation tool, a customized Excel model was developed to reproduce energy production and explore various management scenarios. Following calibration, optimized strategies were formulated in line with OMVS objectives, notably to ensure an average annual production of 807 GWh/year. Through daily timestep simulations, efficient operational scenarios were identified. The findings, consistent with earlier studies, provide valuable insights for enhancing the dam's energy exploitation.*

Keywords*: Optimization, Manantali, Dam, Simulsen.*

Introduction

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une thèse portant sur la gestion d'un barrage hydroélectrique dans un contexte de changement climatique. Situé sur le fleuve Sénégal, le barrage de Manantali concerne quatre pays : la Guinée, le Mali, le Sénégal et la Mauritanie. Il est principalement alimenté par trois affluents majeurs (Figure 1) : le Bafing, le Bakoye et la Falémé (Sané *et al*., 2020). Ce barrage joue un rôle stratégique dans le développement socio-économique des pays membres de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS). Il contribue à la production d'électricité, à la régulation des crues et au soutien des étiages en saison sèche.

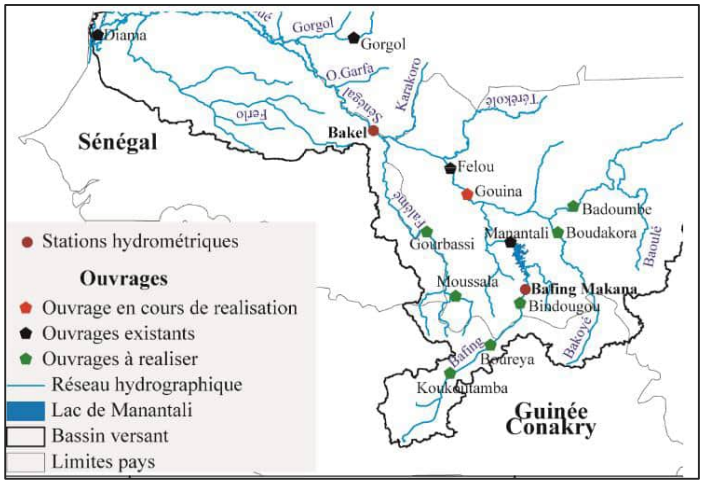


Figure 1 : Localisation du barrage de Manantali dans le Haut bassin versant du fleuve Sénégal (Source : Bodian, 2015).

Toutefois, ses fonctions sont fortement tributaires des conditions climatiques, notamment des précipitations dans le haut bassin du fleuve Sénégal. Des travaux récents (Galy-Lacaux *et al*., 2021 ; Sarr, 2009) confirment une tendance à la variabilité accrue du climat, avec des saisons de pluie de plus en plus imprévisibles. La pluviométrie moyenne annuelle sur la période 1923-2005 varie entre 2000 mm au sud du bassin et 1200 mm au nord (Bodian et al., 2015). Selon Faye (2015), le changement climatique y est marqué par une forte baisse des précipitations depuis les années 1970, et a conduit à une diminution significative des modules annuels (−46,3 %), une baisse des crues (−48,5 %), et une modification globale du régime naturel du fleuve. Faye et al. (2019) et Sané et al. (2017) ont constaté également une baisse des débits sur le fleuve. Bodian et al. (2015) concluent que les apports en eau au barrage de Manantali connaîtront une baisse à l'horizon 2050, en lien avec les projections climatiques issues des modèles du GIEC. Compte tenu de tous ces aléas liés aux climats, nous avons proposé une étude qui vise donc à améliorer les stratégies de gestion du barrage afin d'optimiser la production énergétique tout en assurant la durabilité des ressources hydriques.

Les diagrammes de la Figure 2 permettent de discriminer les grands régimes climatiques : guinéen (Bafing Makana), soudano-sahélien (Oualia) et sahélien (Bakel) correspondant à une zone climatique distincte du haut bassin du fleuve Sénégal. Toutes les stations présentent des températures moyennes mensuelles variant entre 25°C et 35°C, avec un cumul annuel de précipitations estimé à environ 1042 mm à Bafing Makana, 924 mm à Oualia et 689 mm à Bakel. Ils mettent en évidence la transition climatique du sud au nord du bassin versant, ce qui est crucial pour la compréhension de la variabilité des apports en eau au fleuve Sénégal et de l'impact du changement climatique selon les zones.

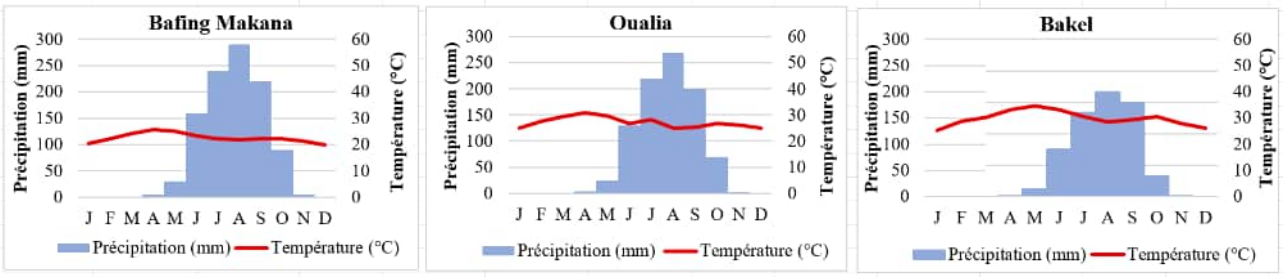


Figure 2 : Diagrammes ombrothermiques de 3 stations situées dans le BV du Haut Sénégal (Données source Faty, 2019).

1. Méthodologie

1.1. Données collectées

L'étude repose sur l'analyse des données hydrologiques et d'exploitation du barrage entre 2003 et 2023, période durant laquelle les fluctuations climatiques régionales ont eu un impact notable sur les apports hydriques, influençant directement les stratégies de gestion du réservoir. Les paramètres considérés incluent : les niveaux d'eau dans la retenue, les débits mesurés aux stations de Bafing Makana, Gourbassi et Oualia et les débits turbinés, les débits déversés et la puissance produite (Bader et al., 2003). Une visite de terrain a été réalisée sur la période du 28 mai au 06 juin 2024 pendant la saison sèche permettant d'inspecter les infrastructures et de s'entretenir avec les gestionnaires du site. Les clichés présentés (Figure 3) ont été réalisés par le 1er auteur lors de la visite de terrain.



a) Turbine de production d'énergie

b) Échelle de mesures hydrométriques

c) Vanne de surface pour déversement

Figure 3 : Turbine, échelle de mesure et évacuateur de crue de du barrage hydroélectrique de Manantali. Cliché pris le 31/05/2024 ©Moussé Landing SANE.

1.2. Outil de travail

Le logiciel Simulsen, développé par l'IRD pour l'OMVS (Bader, 1991), est normalement utilisé pour simuler la gestion du barrage de Manantali, en évaluant l'impact de différentes règles de gestion sur la satisfaction des objectifs (production énergétique, laminage des crues, etc.). En raison de l'indisponibilité de cet outil, une version Excel personnalisée a été développée pour simuler divers scénarios de gestion, en intégrant les principales caractéristiques de fonctionnement du barrage.

1.3. Approche générale

La production énergétique du barrage de Manantali est répartie entre le Mali (51 %), le Sénégal (33 %) et la Mauritanie (15 %) via leurs sociétés nationales respectives. Les besoins quotidiens en énergie sont transmis par chaque pays et ajustés en fonction des ressources disponibles.

L'étude s'est articulée en quatre phases principales :

- ✓ Une visite de terrain pour inspecter les installations et comprendre les pratiques de gestion
- ✓ Des entretiens avec le personnel et l'analyse de données hydrologiques sur 21 ans (2003-2023)
- ✓ La calibration d'un outil de simulation via sept scénarios testant différents rendements de turbines
- ✓ L'optimisation de la production en fonction des niveaux du réservoir

La calibration a permis d'établir une relation empirique entre le rendement hydroélectrique, le niveau d'eau et les débits turbinés, fournissant une base solide pour l'analyse des scénarios de gestion.**Tableau 1** : Définition des scénarii de gestion du barrage de Manantali

Notation	Définition
PP_1_min	Simulation avec le rendement minimal annuel pour l'année considérée
PP_1_moy	Simulation avec le rendement moyen annuel pour l'année considérée
PP_1_max	Simulation avec le rendement maximal annuel pour l'année considérée
PP_2_min	Simulation avec le rendement minimal annuel pour l'année considérée
PP_2_moy	Simulation avec le rendement moyen annuel pour l'année considérée
PP_2_max	Simulation avec le rendement maximal annuel pour l'année considérée
PP_2_opt	Simulation avec un rendement optimal dérivé de l'analyse globale

Avant de proposer une gestion optimale, nous nous sommes d'abord assurés que l'outil de travail arrive à reproduire correctement les mêmes résultats que ceux produits avec le Simulsen, lequel est dédié à gestion du barrage de Manantali. Concernant l'optimisation, différents scénarios de débits turbinés ont été établis pour chaque côte du réservoir (de 208,05 m à 192 m,

par pas de 0,5 m), en fonction de valeurs (débits) minimales, moyennes, maximales et intermédiaires. Cette démarche vise à identifier les stratégies de production les plus performantes selon les conditions hydriques du réservoir. Pour l'optimisation de la production, différents débits turbinés ont été testés pour chaque côte d'eau du réservoir selon quatre stratégies : les débits minimal (scénarii_1), moyen (scénarii_2), maximal (scénarii_3) et intermédiaire (scénarii_4) de chaque côte (Tableau 2).

Tableau 2 : Scénarii d'optimisation pour la production d'énergie selon différentes côtes de 208.05 à 192 m.

Côte (m)	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3	Scénario 4
208,05	Q_turb_S1-1	Q_turb_S2-1	Q_turb_S3-1	Q_turb_S4-1
207,5	Q_turb_S1-2	Q_turb_S2-2	Q_turb_S3-2	Q_turb_S4-2
207,0	Q_turb_S1-3	Q_turb_S2-3	Q_turb_S3-3	Q_turb_S4-3
...	...	...	...	...
192,0	Q_turb_S1-n	Q_turb_S2-n	Q_turb_S3-n	Q_turb_S4-n

2. Résultats et discussions

L'outil développé sous Excel a été validé en comparant les simulations aux données observées entre 2003 et 2023. Les résultats montrent que les rendements minimaux et maximaux produisent des écarts significatifs tandis que le rendement moyen offre une meilleure adéquation avec les observations. La calibration d'un rendement optimal permet d'obtenir les simulations les plus proches de la réalité.

L'analyse des tendances mensuelles révèle une production énergétique qui diminue progressivement de 85 à 65 MW par mois durant la période de remplissage du réservoir entre septembre et février. Une reprise à 75 MW par mois est observée en saison sèche de mars à juin, alors que la production reste limitée à moins de 60 MW par mois lorsque le réservoir atteint sa capacité maximale.

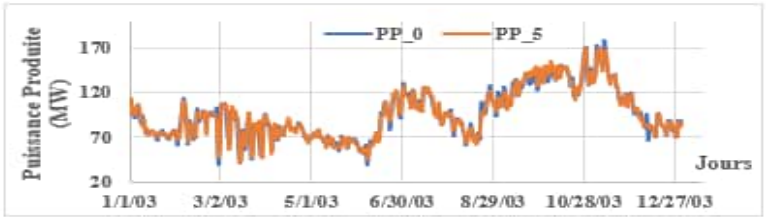


Figure 4 : Puissance hydro-électrique produite en 2003 suivant les scénarii, au barrage de Manantali. PP_0 et PP_5.

Afin d'améliorer la qualité de la simulation, une comparaison a été réalisée entre les puissances observées et celles simulées. La Figure 5 présente l'évolution de la production énergétique annuelle observée entre 2003 et 2023, ainsi que les résultats issus de deux scénarios de gestion simulés. L'analyse montre une tendance générale à l'augmentation de la production sur l'ensemble de la période étudiée. Parmi les scénarios simulés, le scénario PP_5 présente la meilleure concordance avec les observations. Ce résultat valide la pertinence du calage effectué sur l'outil de simulation. En revanche, les résultats obtenus avec le scénario PP_1_min sont significativement inférieurs aux observations, rendant ce scénario inadapté pour les travaux d'optimisation ultérieurs. Il a donc été écarté des analyses complémentaires. La comparaison entre les puissances observées et simulées est présentée en Figure 5, pour la -production annuelle totale. Le scénario PP_5 (rendement optimal) montre une excellente correspondance avec les observations et le scénario PP_1_min sous-estime fortement la production annuelle et n'est pas retenu pour la suite des analyses.

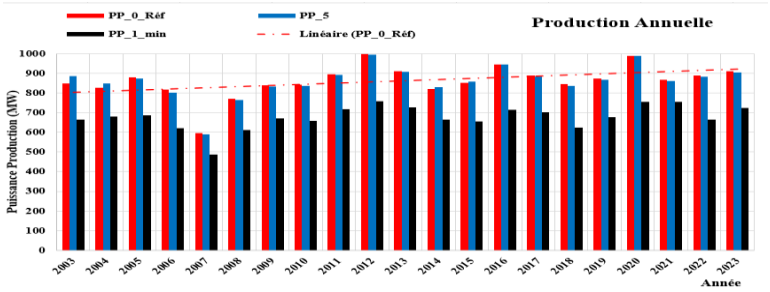


Figure 5 : Comparaison de la production annuelle simulée vs observée (2003-2023).

Les résultats de l'optimisation avec les deux premiers scénarii sont présentés sur la figure 6. Nous voyons une nette différence sur le scénario 1 dont les résultats ne sont pas concluants. Pour ce scénario, la moyenne annuelle de la production est de 450 GWh/an, ce qui représente presque la moitié de la production observée. Les résultats du scénario 2 sont meilleurs que ceux du précédent, mais cette différence n'est pas concluante si nous souhaitons faire une optimisation. Bien que, pour certaines années (2003, 2017 et 2020), les productions simulées avoisinent 1000 GWh/an, les résultats globaux obtenus avec ces deux premiers scénarios restent insuffisants en termes de performance énergétique (qui est en de moyenne 807 GWh/an tous les 9 ans sur 10) de régularité. Par conséquent, ces scénarios ne seront pas retenus pour la suite de l'analyse.

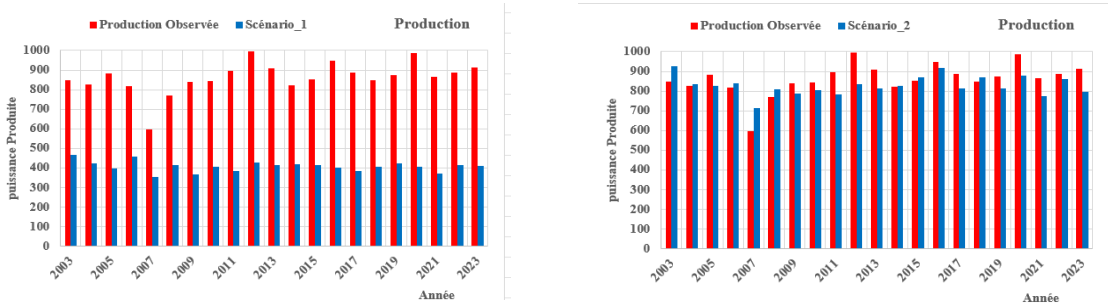


Figure 6 : Optimisation de la production d'énergie selon les scénarii 1 (à gauche) et 2 (à droite).

L'optimisation avec les scénarii 3 et 4 est illustrée sur la figure 7. Pour le scénario 3 où les débits max sont utilisés pour la production d'énergie, la production moyenne annuelle est de 1200 GWh/an. Nous dépassons largement l'objectif fixé par l'OMVS, soit une augmentation de près de 50 %. C'est un résultat qui n'est pas rationnel car le réservoir du barrage risque d'être vidé en quelques années. Ce scénario ne sera donc pas retenu vu les inconvénients qu'il peut engendrer. En revanche pour le scénario 4 où nous avons fait usage des débits intermédiaire ou optimiste, nous avons une production moyenne de de 1000 GWh/an soit une hausse de de près de 24%. Parmi tous les scénarii d'optimisation, c'est le plus réaliste.

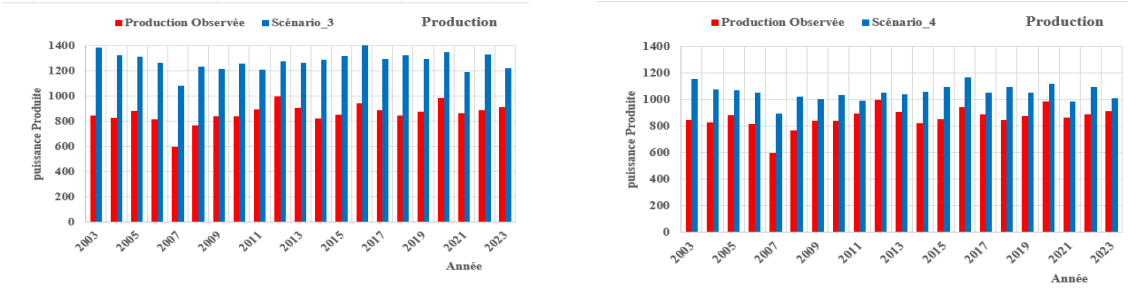


Figure 7 : Optimisation de la production d'énergie selon les scénarii 3 (à gauche) et 4 (à droite).

3. Recommandations

Sur la base des résultats et de l'expérience acquise, trois recommandations majeures sont formulées pour améliorer la gestion du barrage de Manantali. Il est essentiel d'optimiser les

règles de gestion afin de maximiser la production d'énergie tout en préservant les niveaux d'eau nécessaires aux autres usages. Le développement d'un modèle prédictif intégrant des données hydrologiques et climatiques est recommandé pour anticiper les périodes de stress hydrique. Enfin, l'intégration systématique des impacts du changement climatique, notamment la variabilité des précipitations et l'intensification des sécheresses, s'impose pour garantir la durabilité de l'exploitation.

Conclusion

L'évaluation des scénarios de production énergétique au barrage de Manantali révèle que le scénario 4, fondé sur des débits intermédiaires optimisés, présente le meilleur compromis. Il permet une production annuelle de 1000 GWh (soit +24% par rapport aux performances historiques) tout en préservant la durabilité du réservoir, contrairement aux autres options soit insuffisantes (scénarios 1-2) soit excessives (scénario 3).
L'étude démontre l'efficacité du modèle Excel développé, tout en soulignant la vulnérabilité du système aux variations climatiques. La gestion future devra intégrer des projections pluviométriques et des analyses de sensibilité pour renforcer la résilience de l'infrastructure face aux changements climatiques.

Bibliographie

Bader J. C. (2015). Monographie hydrologique du fleuve Sénégal De l'origine des mesures jusqu'en 2011. IRD Éditions Institut de recherche pour le développement Marseille, 2014.

Bader J. C., Lamagat J. P. et Guiguen N. (2003). Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs. *Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques*, **48(4)** août 2003, 525-538p.

Bader J.C. (1991). Logiciel de simulation de gestion de la retenue de Manantali au pas de temps journalier. Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS). Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM). Marche fac No **9/87**/0MVS DU 15.12.87.

Bodian, A., A. Dezetter, H. Dacosta, C. Dieulin, et N. Dessay. (2015). Évolution des apports en eau au barrage de Manantali à l'horizon 2050. Communication au colloque FRIEND-Water, 26–30 octobre, Hammamet, Tunisie.

Faty A. (2019) : Modélisation hydrologique du haut bassin versant du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité hydro-climatique. Thèse de doctorat Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 237 p., pp. 33 et 35.

Faye C. (2015) « Impact du changement climatique et du barrage de Manantali sur la dynamique du régime hydrologique du fleuve Sénégal à Bakel (1950-2014)», Bulletin de la Société Géographique de Liège [En ligne], 64 (2015/1).

Faye, C., D.D. Ba, et A. Bamba. (2019). "Caractérisation des effets du barrage de Manantali sur le régime hydrologique du fleuve Sénégal à Bakel." Revue du CAMES - Sciences Appliquées et de l'Ingénieur **4** (1): 122–132.

Galy-Lacaux, C., Liousse, C., Lacaux, J. P., & Delmas, R. (2021). Variabilité climatique en Afrique de l'Ouest : impact sur les ressources hydriques et les écosystèmes. Pollution Atmosphérique.

Sané M. L., S. Sambou, D. M. Ndione, I. Lèye, S. Kane et ML. Badji (2017). Analyse et traitement des séries de débits annuels et mensuels sur le fleuve Sénégal en amont du barrage de Manantali : cas des stations de Bafing Makana et Dakka Saidou. Rev. Ivoir. Sci. Technol., **30** (2017) 102 – 120, ISSN 1813-3290.

Sane, M.L., Sambou, S., Leye, I., Ndione, D.M., Diatta, S.,Ndiaye, I., Badji, M.L. and Kane, S. (2020). Calibration and Validation of the SWAT Model on the Watershed of Bafing River, Main Upstream Tributary of Senegal River: Checking for the Influence of the Period of Study. Open Journal of Modern Hydrology, **10**, 81-104. https://doi.org/10.4236/ojmh.2020.104006.

Sarr, M. (2009). Modélisation hydrologique du bassin du fleuve Sénégal et impact du changement climatique sur les ressources en eau (Thèse de doctorat). Université de Lyon, France.

INFLUENCE DES PRÉCIPITATIONS SUR L'ÉCOULEMENT FLUVIAL DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE EN GUINÉE : CAS DU BASSIN DE TINGUILINTA

Moussa Mamady TRAORE[1,3,7], Dahirou WANE[1], Tamba Nicolas MILLIMONO[1,4,7], Ibrahima CAMARA[1], Ibrahima Kalil KANTÉ[1,5,7], Bakary TRAORE[8], Mamadou Bailo BARRY[1,6], Moussa DIAKHATÉ[1,2], Abdou Lahat DIENG[1], Saidou Moustapha SALL[1].

[1]*Laboratoire de physique de l'Atmosphère et de l'Océan Simeon Fongang (LPAO-SF), Université Cheick Anta Diop, Sénégalmoussamamady.traore@ucad.edu.s*
[2]*Polytech-Diamniadio, Université Amadou Mahtar Mbow (UAM) de Dakar, Diamniadio, Sénégal.*
[3]*Institut Supérieur des Sciences de l'Education de Guinée (ISSEG), Guinée.*
[4]*Institut Supérieur de Technologie (IST) de Mamou, Guinée.*
[5]*Autorité Guinéenne de l'Aviation Civile (AGAC) BP: 95, Guinée .*
[6]*Université de Labé (UL), Guinée.*
[7]*Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Énergétique Appliquée (LEREA), Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (UGANC), Guinée.*
[8]*Université de N'Zérékoré (UZ), Guinée*

Résumé : *Le climat, notamment les précipitations, joue un rôle crucial dans la dynamique des bassins versants en alimentant le débit fluvial, élément clé des cours d'eau et formateur des paysages. Cette étude examine la relation entre les précipitations et le débit fluvial dans le bassin versant de Tinguilinta à Boké, afin de mieux comprendre les variations hydrologiques et leur impact sur la gestion des ressources en eau. Les analyses statistiques, utilisant les tests de Mann-Kendall et de Pearson à un seuil de significativité de 95 %, révèlent une forte variabilité saisonnière, avec un pic des précipitations en août (350 mm) et du débit fluvial (9000 mm³/mois). Les résultats montrent une légère augmentation des précipitations (Tend = 0,0232, p = 0,3177), mais non significative, tandis que le débit fluvial présente une tendance positive et significative (Tend = 0,0824, p = 0,0000). Une corrélation très significative entre précipitations et débit fluvial a été observée, indiquant qu'une augmentation des précipitations entraîne une hausse du débit. Ces résultats sont essentiels pour la gestion durable des ressources en eau et la production d'énergie hydroélectrique, et l'étude envisage d'explorer d'autres facteurs influençant ces dynamiques. À l'avenir, cette étude envisage d'étudier également d'autres facteurs influençant ces dynamiques, tels que la nature des sols, la couverture végétale et l'utilisation des terres.*

Mots clés : *bassin hydrographique, précipitation, écoulement fluvial, débit d'eau.*

1. Introduction

L'eau douce, vitale pour les écosystèmes et les sociétés humaines, dépend fortement des précipitations qui régulent les débits fluviaux, en particulier dans les régions tropicales comme l'Afrique de l'Ouest, soumises à une forte variabilité climatique (Vörösmarty et al., 2010 ; Shiklomanov, 2000). En Guinée, pays tropical humide, cette variabilité rend la gestion de l'eau particulièrement complexe, notamment dans des bassins versants comme celui de Tinguilinta à Boké, où les fluctuations saisonnières des précipitations influencent fortement les débits, affectant des secteurs essentiels tels que l'irrigation, l'hydroélectricité et la prévention des catastrophes hydriques (Sokona et al., 2012 ; Titi et al., 2018 ; Sow et al., 2020). Face aux défis croissants liés au changement climatique, comprendre les liens entre précipitations et écoulement fluvial s'avère indispensable pour garantir une gestion durable et stratégique des ressources en eau (Vogel et al., 2018 ; Niang et al., 2014).

La présente étude est structurée comme suit : **Section 2, nous décrivons l**a **zone d'étude**, des **données utilisées**, et des **méthodologies** appliquées, incluant l'approche statistique pour le **calcul des tendances** et des **corrélations**, ainsi que l'évaluation de leur **significativité**. Dans la s**ection 3, Analyse** et **interprétation** des résultats obtenus. Présentation des **discussions** et des **conclusions sont présentées dans la section 4**.

2. Méthodologie

2.1. Présentation de la zone d'étude

La Guinée, surnommée le château d'eau de l'Afrique de l'Ouest, abrite les sources de grands fleuves tels que le Niger, le Sénégal et la Gambie, avec le massif du Fouta Djallon comme principal centre de dispersion hydrographique. En Haute-Guinée, le fleuve Niger prend sa source à Faranah, tandis que la Basse-Guinée, à la topographie plane et aux précipitations abondantes, présente un régime fluvial plus stable. Toutefois, les rivières issues du Fouta Djallon peuvent avoir un régime torrentiel en raison des pentes abruptes et des fonds rocheux. Le bassin versant de Tinguilinta, d'une superficie de 4 858 km² sur 160 km de long, traverse la région de Boké avant de se jeter dans l'Atlantique via le Rio Nunez à Kamsar, illustrant la diversité et la richesse hydrologique du pays.

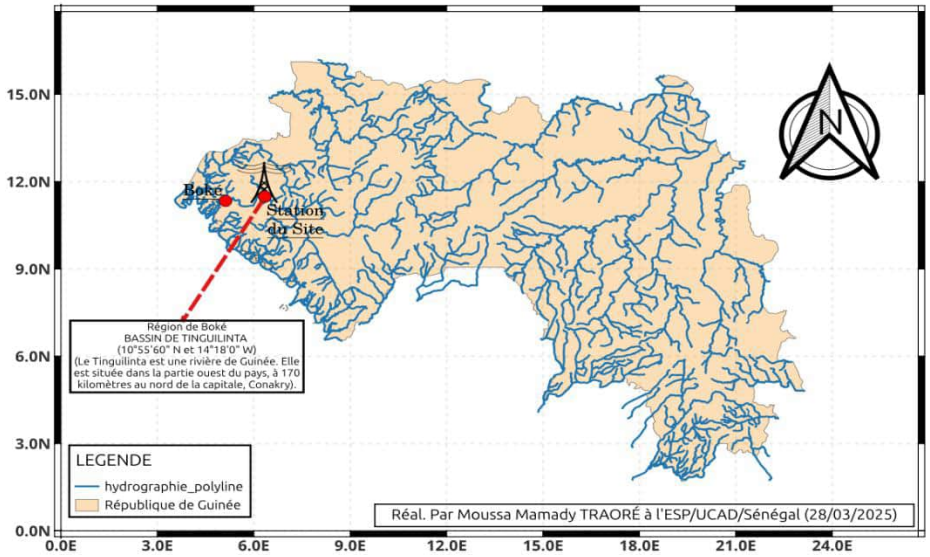


Figure 1 : Bassin hydrographique de la République de Guinée. Les points rouges représentes les stations synoptiques utilisés

2.2. Données

Les données utilisées dans cette étude sont de deux types :

a. Les données de précipitations des stations synoptiques de la zone d'étude ont été fournies par la **Direction Nationale de la Météorologie (DNM)** de Guinée. Elles correspondent aux **moyennes annuelles** sur une période de **30 ans (1991-2020)** et concernent les stations couvrant le site du **barrage** et ses **affluents**, notamment celles de **Boké** et du **site de Tinguilinta** (Figure 1).

b. Les données de débit du barrage de Tinguilinta sur une période de 30 ans, de 1991 à 2020. Ces données sont disponibles auprès de la Direction Générale de la Compagnie Guinée Eau et Électricité (EDG).

2.3. Méthodes

Cette étude repose sur l'analyse de la climatologie mensuelle, de la variabilité interannuelle et des anomalies standardisées des précipitations et du débit d'eau, suivie de tests de détection des tendances et d'évaluation de la significativité statistique entre ces deux variables sur la période 1991-2020.

a. Climatologie mensuelle et l'anomalie standardisée de la précipitation et débit d'eau.

La climatologie mensuelle a été déterminée en calculant les moyennes mensuelles sur 30 ans, permettant ainsi de caractériser les régimes saisonniers et d'identifier les périodes les plus humides et les plus sèches. L'**anomalie standardisée** de ces produits a été **calculée** en **soustrayant**, pour chaque produit, la **moyenne annuelle** des **précipitations** et du **débit d'eau**

à leur **moyenne interannuelle**, puis en les **normalisant** par l'**écart-type**.

b. Test de Mann-Kendall (MK) pour la détection de tendances

Le test de Mann-Kendall est une méthode non paramétrique utilisée pour évaluer la présence d'une tendance monotone (croissante ou décroissante) dans une série chronologique. Il est couramment utilisé dans les études de climatologie et d'hydrologie pour analyser les tendances dans des séries de données climatiques ou hydrologiques (Mann, 1945; Kendall, 1975).

Formulation du Test de Mann-Kendall

Soit X_1, X_2, ..., X_n une série chronologique de données observées à différents instants. Le test de Mann-Kendall consiste à calculer la statistique S qui mesure la tendance dans les données. La formule de S est :

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \text{sgn}(X_j - X_i)$$

où $\text{sgn}(X_j - X_i)$ est la fonction signe qui prend la valeur +1 si $X_j > X_i$, la valeur -1 si $X_j < X_i$, et la valeur 0 si $X_j = X_i$. La statistique S suit une distribution normale asymptotique pour des séries de données suffisamment longues, avec une moyenne et une variance

c. ***Test de corrélation de Pearson***

Le test de corrélation de Pearson est utilisé pour évaluer la force et la direction de la relation linéaire entre deux variables continues. Ce test est particulièrement adapté pour vérifier la corrélation entre les précipitations et le débit fluvial dans le cadre de cette étude.

Formulation du Test de Corrélation de Pearson

La corrélation de Pearson, notée r, est calculée par la formule suivante :

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \overline{Y})^2}}$$

Où :

- X_i et Y_i sont les valeurs des variables X (précipitations) et Y (débit fluvial) respectivement,
- $\overline{X}$ et $\overline{Y}$ sont les moyennes de X et Y.

Le coefficient r varie entre -1 et +1 : r = +1 indique une corrélation parfaite positive, r = −1 indique une corrélation parfaite négative, r = 0 indique aucune corrélation linéaire.

Pour tester la significativité de la corrélation, on compare la statistique t calculée à partir de r avec la valeur critique $t_{\alpha/2}$ dans une distribution t de Student avec n−2 degrés de liberté :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Si |t|est supérieur à la valeur critique $t_{\alpha/2}$, la corrélation est significative au seuil de 95 %. Le seuil de significativité de 95 % signifie qu'il y a 5 % de chance que le résultat observé soit dû au hasard. Cela correspond à une probabilité de α=0.05, et la valeur critique $Z_{\alpha/2}$ pour une distribution normale à 95 % est environ 1.96. Pour le test de corrélation de Pearson, la valeur critique $t_{\alpha/2}$ est déterminée en fonction de n−2 degrés de liberté et de α=0.05.

Cette méthodologie permet de déceler les tendances et les relations statistiques entre les précipitations et le débit fluvial dans le bassin de Tinguilinta, fournissant des résultats essentiels pour une gestion efficace des ressources en eau.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Climatologie mensuelle de la précipitation et le débit d'eau en République de Guinée

La climatologie mensuelle des précipitations et du débit d'eau en Guinée, mettant en évidence une forte saisonnalité (Fig. 2). Les précipitations augmentent progressivement à partir de mai, atteignent un maximum en août (750 mm) avant de diminuer jusqu'en décembre. Le débit d'eau suit cette tendance avec un retard d'environ un mois, atteignant son maximum en septembre (9500 mm/s) en raison du ruissellement et de l'infiltration progressive des eaux. Cette relation reflète l'influence du régime de mousson, avec une saison humide marquée (mai-octobre) et une saison sèche (novembre-avril). Le décalage entre précipitations et débit souligne l'importance des processus hydrologiques dans la régulation des écoulements, avec des implications pour la gestion des ressources en eau et l'adaptation aux variations climatiques.

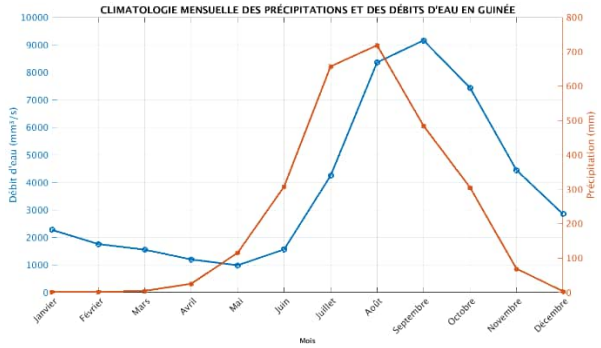


Figure 2 : Climatologie mensuelle de la précipitation et le débit d'eau en République de Guinée durant la période de 1991 à 2020.

3.2. Anomalies standardisées de la précipitation et le débit d'eau en République de Guinée

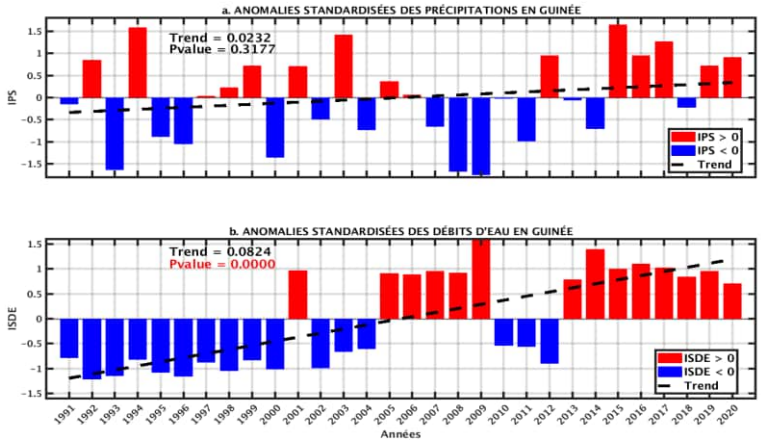


Figure 3 : Anomalies standardisées de la précipitations (a) et le débit d'eau (b) dans le bassin de Tinguilinta à Boké de 1991 à 2020. La droite de regression en couleur noire discontinue.

L'analyse de l'évolution des anomalies standardisées des précipitations (IPS) et du débit d'eau (IDWS) en Guinée entre 1991 et 2020 met en évidence leur interdépendance. Le graphique des précipitations (Fig. 3a) montre des années alternativement plus humides ou plus sèches que la moyenne, avec une tendance linéaire légèrement croissante (coefficient de 0,0232), mais statistiquement non significative (p-value = 0,3177). Cela suggère une forte variabilité interannuelle sans évolution notable à long terme.

En revanche, les anomalies du débit d'eau affichent une tendance significative à la hausse (coefficient de 0,0824 ; p-value = 0,0000), traduisant une augmentation progressive des écoulements fluviaux. Cette divergence entre précipitations et débits peut s'expliquer par des facteurs anthropiques et environnementaux, tels que la déforestation, l'urbanisation, ou les changements d'usage des terres, qui modifient les conditions de ruissellement. L'intensification des épisodes pluvieux extrêmes, ainsi que la réduction de la capacité des sols à absorber et réguler l'eau, contribuent également à cette dynamique. Ces résultats soulignent la nécessité d'une gestion intégrée des ressources en eau, tenant compte non seulement des précipitations, mais aussi des transformations du paysage qui influencent la réponse hydrologique des bassins versants en Guinée.

3.3. Corrélation entre la précipitation et le débit d'eau en République de Guinée

Cette figure illustre la relation entre les précipitations et le débit d'eau en Guinée à travers un nuage de points, accompagné d'une droite de tendance. La corrélation calculée est de **0,5273**, avec une **p-value de 0,0000**, indiquant une relation positive significative entre les deux variables. Cela signifie que l'augmentation des précipitations est généralement associée à une hausse du débit d'eau, bien que la dispersion des points montre une variabilité notable. Cette variabilité peut être attribuée à des facteurs externes influençant le ruissellement et l'infiltration, tels que la nature du sol, la couverture végétale, et l'aménagement du bassin versant. Ainsi, bien que les précipitations soient un facteur déterminant du débit, d'autres processus hydrologiques et anthropiques modulent cette relation, expliquant la dispersion observée autour de la tendance moyenne.

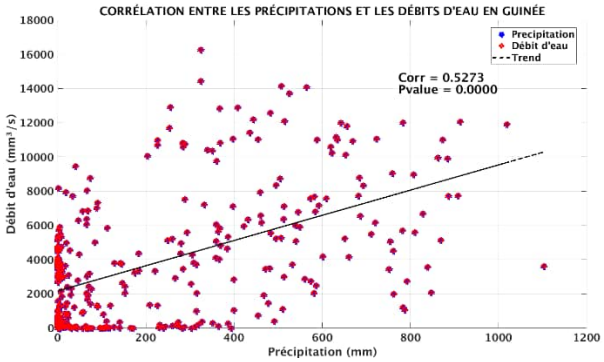


Figure 4 : Corrélation entre précipitation et le débit d'eau dans le bassin de Tinguilinta (1991- 2020).

Discussion

L'analyse de l'influence des précipitations sur l'écoulement fluvial dans le bassin de Tinguilinta, à Boké, révèle une forte corrélation entre ces deux variables, comme l'ont montré plusieurs études menées dans des bassins tropicaux (Mahé et al., 2005). Cette relation est particulièrement marquée pendant la saison des pluies, où les précipitations abondantes alimentent directement le ruissellement et la recharge des cours d'eau (Trenberth et al., 2018). Toutefois, des facteurs hydrologiques tels que l'infiltration, l'évapotranspiration et le stockage des eaux de surface modulent cette dynamique (Douville et al., 2015). L'analyse des anomalies standardisées montre que, bien que les précipitations soient le principal moteur du débit, leur influence peut être atténuée par la variabilité interannuelle et les changements dans les régimes pluviométriques. En Guinée, les excès de précipitations ont souvent provoqué des crues, tandis que les déficits ont entraîné des baisses notables de débits (Descroix et al., 2012). Ces résultats, similaires à ceux observés dans d'autres bassins ouest-africains, soulignent la nécessité d'une gestion intégrée des ressources en eau prenant en compte la distribution saisonnière et l'intensité des précipitations pour mieux anticiper les épisodes de sécheresse et d'inondation (Mahé et al., 2005).

Conclusion

Cette étude a permis de caractériser la relation entre les précipitations et le débit fluvial dans le bassin de Tinguilinta, en mettant en évidence une corrélation significative entre ces deux paramètres hydrologiques. Toutefois, la variabilité interannuelle du débit, observée indépendamment des précipitations, montre l'impact d'autres facteurs tels que les changements environnementaux et l'urbanisation. Ainsi, pour une gestion durable des ressources en eau, il est essentiel de prendre en compte non seulement les précipitations, mais aussi l'évolution des usages des terres et la préservation des écosystèmes hydrologiques. Des recherches futures intégrant des modèles hydrologiques plus détaillés permettront d'affiner ces analyses et d'optimiser les stratégies d'adaptation aux changements climatiques en Guinée.

Bibliographie

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. https://doi.org/10.2307/1907187 .

Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods* (4th ed.). Charles Griffin.

Pearson, K. (1896). Mathematical contributions to the theory of evolution. II. Skew variation in homogenous material. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 187, 253–318. https://doi.org/10.1098/rstl.1896.0007

Descroix, L., Genthon, P., Amogu, O., Rajot, J. L., Sighomnou, D., & Vauclin, M. (2012). *Impact of drought and land–use changes on surface–water quality and quantity: The Sahelian paradox*. Hydrology and Earth System Sciences, 16(3), 1033-1047.

Douville, H., Ribes, A., Decharme, B., Alkama, R., & Sheffield, J. (2015). *Anthropogenic influence on multidecadal changes in reconstructed global evapotranspiration*. Nature Climate Change, 5(4), 432-436.

Mahé, G., L'Hôte, Y., Olivry, J. C., & Wotling, G. (2005). *Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa: 1951–1989*. Hydrological Sciences Journal, 46(2), 211-226.

Trenberth, K. E., Fasullo, J. T., & Mackaro, J. (2018). *Water and energy budgets of hurricanes and implications for climate change*. Journal of Climate, 31(8), 3023-3036.

Vörösmarty, C. J., et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*.

Shiklomanov, I. A. (2000). Appraisal and assessment of world water resources. *Water International*.

Vogel, R., et al. (2018). Climate variability and water resources management in West Africa. *Hydrology and Earth System Sciences*.

Niang, I., et al. (2014). Climate change in West Africa: Impacts and adaptation strategies. *Global Environmental Change*.

Sokona, Y., et al. (2012). Water resources management in Guinea: Impacts of climate variability. *International Journal of Water Resources Development*.

Titi, A. O., et al. (2018). Hydrological assessment of the Tinguilinta basin in Guinea. *Hydrological Sciences Journal*.

Sow, M., et al. (2020). Hydroelectricity potential and water resource management in Guinea. *Energy Policy*.

PROBLÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ ENVIRONNEMENTALE DES SERVICES PUBLICS DE L'EAU POTABLE DANS LA COMMUNE DE DASSA-ZOUME : MESURES URGENTES ET PERSPECTIVES POUR UN ACCES UNIVERSEL

René Ayéman ZODEKON [(1)], Romaric OGOUWALE[(1)] et Léocadie ODOULAMI[(1)]

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)/DGAT/FASHS/ Université d'Abomey-Calavi (UAC) BP 526 Cotonou, République du Bénin (Afrique de l'Ouest), ayeraman90@gmail.com

Résumé *: Cette étude examine les défis environnementaux entravant l'accès universel à l'eau potable dans la commune de Dassa-Zoumé. L'analyse de dix points d'eau et l'inspection de cinquante services révèlent que les eaux des systèmes SONEB et AEV présentent une hyperchloruration sodique tandis que celles des FPMH sont bicarbonatées sodiques. L'évaluation identifie neuf risques majeurs compromettant la durabilité des services hydriques, répartis entre les zones de captage, de distribution, de pompage et de traitement.Pour y remédier, la recherche préconise l'instauration d'un programme annuel de surveillance qualité ainsi que l'élaboration et la mise en œuvre rigoureuse d'un Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau et d'un Plan de Gestion Environnemental et Social. Ces mesures garantiront la pérennité des services d'eau*

Mots clés : *Service Publics d'Eau Potable (SPEP), Durabilité environnementale, PGSSE et PGES.*

Abstract: *This study examines the environmental challenges hindering universal access to drinking water in the commune of Dassa-Zoumé. The analysis of ten water points and the inspection of fifty services reveal that the waters of the SONEB and AEV systems have sodium hyperchlorination while those of the FPMH have sodium bicarbonate. The assessment identifies nine major risks compromising the sustainability of water services, distributed between the catchment, distribution, pumping and treatment areas. To address these risks, the research recommends the establishment of an annual quality monitoring program as well as the development and rigorous implementation of a Water Safety Management Plan and an Environmental and Social Management Plan. These measures will guarantee the sustainability of water services.*

Key words: *Service Public Drinking Water Services (SPEP), Environmental sustainability, PGSSE and PGES.*

Introduction

Dans les pays sous-développés, l'accès universel à l'eau potable constitue un défi majeur à relever. Les gouvernements fournissent d'assez d'effort pour implanter les infrastructures d'accès à l'eau potable dans le but d'atteinte les Objectifs du Développement Durable. Pour y arriver, la question de la durabilité est une problématique centrale pour les services publics d'eau potable, tant dans sa dimension environnementale, qu'économique ou sociale. En effet, en tant que service public essentiel, le service d'eau potable se doit d'être accessible à chacun, quel que soit son revenu. Mais le service d'eau est également en forte interaction avec l'environnement où il prélève une ressource qui peut être rare et où il rejette des eaux usées dépolluées qui peuvent avoir un impact significatif sur le milieu récepteur. Enfin, c'est un service qui s'appuie sur une infrastructure lourde et coûteuse dont il doit assurer un renouvellement régulier afin de garantir sa pérennité G. Canneva (2013 ; p.1). C'est dans cette perspective que la présente recherche analyse la durabilité environnementale des services publics d'eau potable à Dassa-Zoumé.

La commune de Dassa-Zoumé, chef-lieu du département des Collines est située entre 7° 29'et 7° 57'de latitude nord et entre 2° 9'et 2° 13' de longitude est (figure 2). Elle couvre une superficie de 1711 km^2 et compte 112 122 habitants (INStaD, 2013 ; p.46). Elle est limitée au nord par la commune de Glazoué, au sud par la commune de Djidja, à l'est par les communes de Savè et Kétou, et à l'ouest par la commune de Savalou. Elle est ceinturée par les collines à l'est et reçoit un apport pluvieux moins important que la commune de Savè. Ainsi, la hauteur moyenne annuelle de pluie est d'environ de 1100 mm (figure 1).

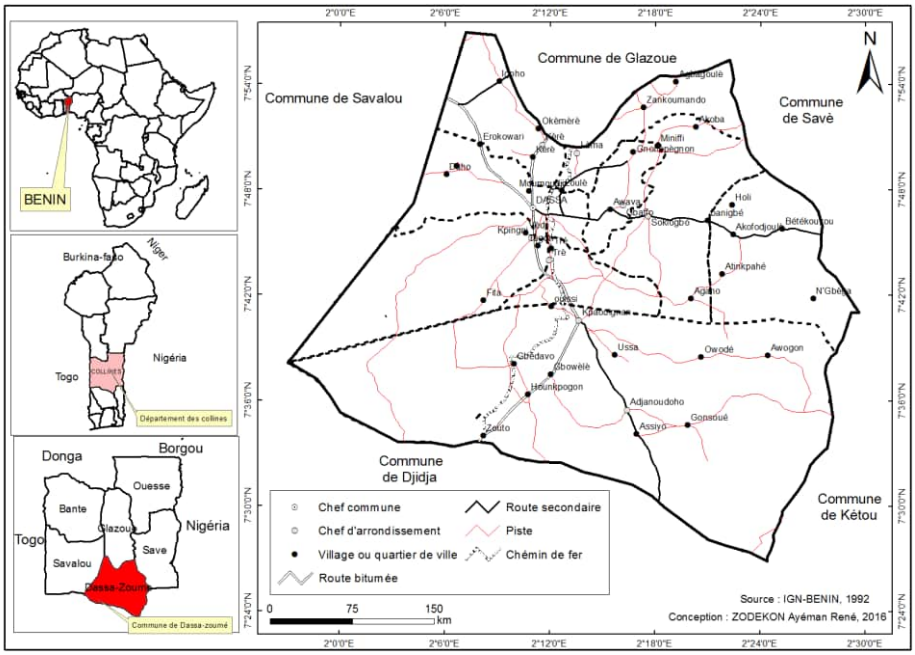


Figure 1 : Situation géographique et administrative de la commune de Dassa-Zoumé

La figure 1 présente la situation géographique et administrative de la commune de Dassa-Zoumé. Elle couvre une superficie de 1711 km^2 et compte 112122 habitants (INSTaD, 2013 ; p.34). Elle est limitée au nord par la commune de Glazoué, au sud par la commune de Djidja, à l'est par les communes de Savè et Kétou et à l'ouest par la commune de Savalou.

1-Approche méthodologique

L'approche utilisée est inspirée de la méthodologie des 3^E utilisée par (C. Pezon, 2014 ; p.87 et G. Canneva, 2012, p.12),) pour évaluer la durabilité des services d'eau potable. La figure 2 présente le principe d'évaluation de la durabilité environnementale des services d'eau potable.

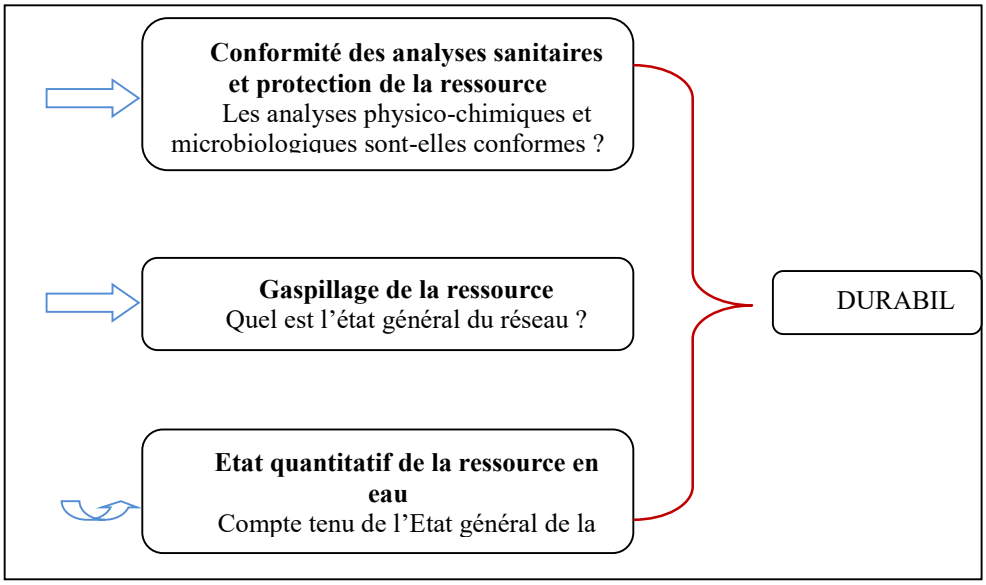


Figure 2 : Principe de l'évaluation du volet environnemental et sanitaire de la durabilité des services publics d'eau potable

Source : G. Canneva (2012, p.12), complété par Zodékon, juin 2024

La figure 2 présente le modèle d'analyse de la durabilité environnementale des services d'eau. A cette approche, s'ajoutent les observations faites au niveau de l'environnement

immédiat du système d'approvisionnement en eau potable. Elles ont permis d'identifier les mobiles responsables de la durabilité environnementale du service d'eau. Le tableau I présente les périmètres objets d'observations.

Tableau I : Présentation des périmètres de protection des systèmes d'approvisionnement en eau potable

Périmètres de Protection	Observations
Périmètre de Protection des captages (Rayon de 15 m)	
Périmètre de Protection rapproché (Rayon de 100 m)	
Périmètre de Protection Eloigné (Rayon de 200 m)	

Source : ANAEPMR (2020, p.87)

Le présent tableau I a permis de faire une analyse plus pointue de l'état de l'environnement des systèmes d'approvisionnement en eau potable. Cette analyse basée sur les observations directes faites sur le terrain, a permis d'apprécier l'état de l'environnement et d'identifier les facteurs susceptibles liés à sa dégradation. Cette approche méthodologique a permis d'aboutir aux résultats suivants.

2-Résultats

2.1-Analyse par faciès géochimique de la qualité de l'eau consommée

Dans le cadre de cette recherche, le diagramme de Piper montre pour 10 échantillons plusieurs faciès (Figure 3).

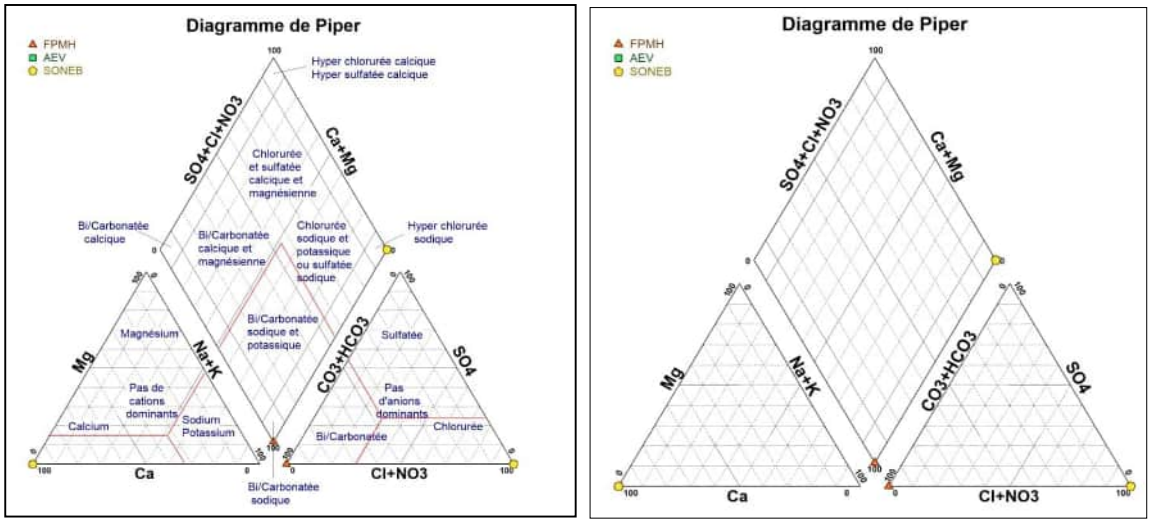


Figure 3 : Diagramme de Piper : les faciès géochimiques des eaux de FPMH, AEV et SONEB

Source : Résultats de traitement des données, septembre 2024

Il ressort de l'analyse des faciès géochimiques que les eaux de SONEB et de AEV sont hyper chlorurées sodiques. Les eaux de FPMH sont bi carbonatées sodiques. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus par A. Sadek (2011, p.344). En effet, dans une analyse des faciès géochimiques de 45 échantillons d'eau, il aboutit à la conclusion que, les eaux de quelques forages ont une tendance vers un faciès différent localement, calco-magnésien sodique, bicarbonaté chloruré pour les eaux d'Eocène et magnésien bicarbonaté pour les eaux du Cénomanien.

2.2-Analyse microbiologique des eaux consommées par les ménages

Le tableau II présente les résultats microbiologiques des analyses effectuées sur 10 prélèvements d'eau consommée par les ménages.

Tableau II : Résultats de l'analyse microbiologique des eaux de boisson

		Indicateurs de performances environnementales			Nombre de prélèvements
Dassa-Zoumé	**Normes OMS**	Coliformes fécaux	Coliformes totaux	*Escherichia coli*	
		0/1mL	0/100mL	0/100 mL	
Source d'eau	FPMH	**0**	**36**	**10**	**06**
	AEV	**0**	**0**	**18**	**02**
	SONEB	**0**	**0**	**0**	**02**

Source : Résultats des analyses du laboratoire DG-Eau, juin 2024

Il ressort que les eaux des FPMH distribuées à la source contiennent en moyenne 36 UFC/100 ml et 10 UFC/100 ml, respectivement de coliformes totaux et d'*Escherichia coli*. Pour les AEV, l'eau distribuée à la population à partir de cette source regorge en moyenne seulement 18 UFC/100 ml *d'Escherichia coli.* L'infiltration du lixiviat au niveau de la nappe phréatique expose l'eau à diverses pollutions notamment celles bactériologiques. Selon H. S. Totin Vodounon (2010, p.221), le nombre de germes bactériens varie surtout au niveau des forages pédestres, dont le système de tête de pompe serait un facteur important d'infiltration des eaux souillées et contaminées.

2.3-Risques identifiés susceptibles d'affecter la durabilité environnementale des services d'eau potable

L'inspection des services d'eau potable a permis d'identifier treize (13) risques susceptibles d'affecter la durabilité environnementale des services publics d'eau potable. Il s'agit de huit (6) risques au niveau des AEV, quatre (4) risques liés à la survenance des pannes et trois (03) risques relatifs à la qualité de l'eau distribuée aux usagers. La synthèse des risques identifiés, les causes et les conséquences seront présentées le tableau III.

Tableau 3 : Synthèse des risques identifiés

N°	Risques identifiés	Causes	Conséquences	
			Contamination de l'eau	Arrêt d'eau
ZONE DE CAPTAGE				
1	Existence d'une latrine à moins de 15 m du forage	Absence de prise en compte de la réglementation concernant les Périmètres de protection	X	
2	Existence d'autres sources de pollution à moins de 15 m du forage	Absence d'entretien par le fermier	X	
3	Existence des sources de pollution à moins de 100 m du forage	Non-respect des règles d'hygiène publique	X	
4	Clôture autour du forage (15 m) détériorée	Manque d'entretien périodique et de suivi de l'état des installations		X
5	Existence d'un forage abandonné et non fermé à moins de 100 m du forage	Absence de prise en compte de la réglementation concernant la délimitation du périmètre de protection de la zone de captage	X	

N°	Risques identifiés	Causes	Conséquences	
			Contamination de l'eau	Arrêt d'eau
CAPTAGE				
6	L'aire bétonnée autour de la tête de forage mesure moins de 2 mètres de diamètre	Non-respect des dimensions réglementaires lors de la construction de l'aire bétonnée		X
7	Aire bétonnée autour de la tête de forage fissurée	Non-respect du dosage de béton lors de la construction et absence de suivi de l'état de l'ouvrage	X	
8	L'eau stagnante à proximité de la tête du forage peut s'infiltrer et contaminer le forage	Mauvaise conception de la protection de la tête du forage		
POMPAGE				
9	Arrêt de la pompe	Coupure d'électricité de la SBEE		X
10	Arrêts du groupe	Coupure d'électricité de longue durée		X
TRAITEMENT				
11	Présence de résidus de chlore dans l'eau	Traitement irrégulier de l'eau	X	
STOCKAGE				
12	Fuite du réservoir	Présence de fissures		X
DISTRIBUTION				
13	Deux casses enregistrées	Travaux de fouilles à proximité des canalisations	X	X

Source : Travaux de terrain, juin 2024

Au total, treize (13) risques ont été identifiés au niveau des services d'eau inspectés. Les conséquences de ces risques se résument à la contamination de l'eau et à l'arrêt de la fourniture de l'eau aux populations desservies. Ces risques impactent sur les indicateurs de performance environnementale des services d'eau potable et par conséquence sa durabilité environnementale.

3-Discussion

La présence de ces bactéries d'origine fécale dans l'eau de consommation indique une contamination de l'eau par des germes pathogènes comme *Vibrio cholerae* ou Salmonella Typhi (N. C. Amin, 2008 ; p.27). L'infiltration du lixiviat au niveau de la nappe phréatique expose l'eau à diverses pollutions notamment celles bactériologiques. Selon G. Atchadé (2014, p.169), le nombre de germes bactériens varie surtout au niveau des forages pédestres dont le système de tête de pompe serait un facteur important d'infiltration des eaux souillées et contaminées donc d'accroissement de la charge polluante. En effet, cette partie de l'ouvrage est en contact permanent avec les pieds (parfois chargés de bactéries) des usagers de ces forages. Pour E. S. Mialo (2017, p.157), la présence en particulier d'*Escherichia coli* indique qu'il y a une insuffisance de protection de l'eau contre la pollution fécale dans les ménages. Cette contamination peut être corrélée au défaut d'hygiène des mains et du matériel de puisage. Plus

les réservoirs sont de grands volumes, plus longtemps dure l'eau en stockage et plus grand est le nombre de contacts avec l'eau, impliquant plusieurs personnes.

Conclusion

L'analyse de la durabilité environnementale des services publics d'eau potable a permis d'identifier treize (13) risques dont, six (6) risques au niveau des AEV, quatre (4) risques liés à la survenance des pannes et trois (03) relatif à la qualité de l'eau distribuée aux usagers. L'ensemble de ses freinent les performances environnementales des services d'eau potable. Ces contres performances sont liées aux plusieurs cas de maladies hydriques enregistrés dans la commune de Dassa-Zoumé.

Pour la durabilité environnementale des services d'eau potable, il urge de mettre en œuvre un programme d'auto-surveillance annuelle et régulier de la qualité de l'eau sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques par l'élaboration et l'application d'un Plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau (PGSSE). Aussi, il faut l'élaboration d'un Plan de Gestion Environnemental et Social (PGES) approuvé par l'Autorité Contractante et par l'Agence Béninoise de l'Environnement (ABE) avant l'Entrée en Vigueur du Contrat d'Affermage pour tout service d'eau potable.

Biblisographie

Amin, N.C., Lekadou, K.S., Attia, A.R., Claon, J.S., Agbessi, K., Kouadio, K.L., 2008. Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'adduction publique de huit communes en Côte d'Ivoire. J Sci Pharm Biol 9, pp. 22–31.

ATCHADE A. A. Gervais, 2014**.** Impacts de la dynamique du climat et de l'occupation des terres sur les ressources en eau du bassin versant de la rivière zou dans le Bénin méridional. Thèse de Doctorat. Géoscience de l'Environnement et Aménagement de l'Espace, 235p.

CANNEVA Guillem & ANDUZE Yves 2012. Durabilité des services d'eau : procédure d'évaluation sommaire de la performance des services d'eau," *Working Papers* hal-01584321, HAL.

LEJARS Caroline et CANNEVA Guillem, 2009. Durabilité des services d'eau et d'assainissement : méthode d'évaluation, étude de cas et perspectives pour le changement d'échelle, *Deuxième dialogue euro-méditerranéen de management public*, Portoroz, Slovénie, octobre 2009.

LEJARS Caroline et CANNEVA Guillem, 2008. Durabilité des services d'eau et d'assainissement: méthode d'évaluation, étude de cas et perspective, 22 pages.

OMS, 2000. « Directives de qualité pour l'eau de boisson ». 2nd Ed. Vol 2, Critères d'hygiène et documentation à l'appui, 105p.

PEZON Christelle 2014. La durabilité des services d'eau potable et d'assainissement: concepts, mesure et expériences ». *In : Intercommunalité et durabilité des services d'eau et d'assainissement en Europe*. 31-39.

ÉVÈNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES ET LEURS IMPACTS

CRISE CLIMATIQUE ET BIEN-ETRE DES POPULATIONS AFRICAINES- AIC2025

Georges ADEYE

Université Clermont-Auvergne, CNRS-CERDI-IRD & Université d'Abomey-Calavi, Ecole Doctorale des Sciences Economiques et de Gestion, Laboratoire d'Economie Publique, adeyegeorges@yahoo.fr

Résumé : *La compréhension des effets du changement climatique est essentielle pour formuler des politiques de compensation des pertes économiques. La présente étude vise à analyser les effets du climat sur le bien-être à travers l'indice de développement humain en Afrique. Elle adopte la méthodologie de troncature bilatérale de Alan et al. (2011) sur des données de panel couvrant la période 1996-2022 pour 37 pays. Les résultats montrent que les hausses des précipitations et de température se traduisent par l'amélioration du bien-être de 0,0001 et 0,08335 points respectivement. Toutefois, au-delà d'une certaine quantité de pluies (1602,56 mm) et de température (83,5°C), le niveau de développement se dégrade de 3,12e-08 et 0,0005 points respectivement. Ces résultats soulignent l'importance des politiques d'adaptation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre afin de freiner les effets négatifs des facteurs climatiques sur le bien-être en Afrique.*

Mots-clés : *Afrique, crise climatique, bien-être*

Abstract: ***Climate crisis and the well-being of african populations.*** *Understanding the effects of climate change is essential for formulating policies to compensate for economic losses. This study aims to analyze the effects of climate on well-being through the Human Development Index in Africa. It adopts the bilateral truncation methodology of Alan et al. (2011) on panel data covering the period 1996-2022 for 37 countries. The results show that increases in precipitation and temperature translate into an improvement in well-being of 0.0001 and 0.08335 points, respectively. However, beyond a certain amount of rainfall (1602.56 mm) and temperature (83.5°C), the level of development deteriorates by 3.12e-08 and 0.0005 points respectively. These results highlight the importance of adaptation and greenhouse gas emission reduction policies to curb the negative effects of climate factors on well-being in Africa.*

Keywords: *Africa, climate crisis, well-being*

Introduction

Le changement climatique affecte profondément le bien-être des populations, particulièrement dans les pays les moins développés, qui subissent de lourdes pertes économiques en raison d'un climat plus chaud et plus sec (M. Malpede & M. Percoco, 2024). Face à son accélération alarmante (GIEC, 2021 ; R. Ivan et al., 2022), la lutte contre ce phénomène devient une priorité mondiale. Or, l'objectif de limiter le réchauffement à 2°C (COP21) semble compromis (GIEC, 2014), ce qui exige d'intégrer urgemment les enjeux climatiques dans les débats sur le développement, la croissance et la réduction de la pauvreté en Afrique, notamment via la transformation structurelle.

La littérature existante confirme l'effet disproportionné du changement climatique sur les moyens de subsistance, surtout dans les pays pauvres (B. Lokonon & A. Mbaye, 2019 ; R. Ivan et al., 2022 ; O. Zapata, 2022). Celui-ci réduirait le bien-être de 4 % aux États-Unis et de plus de 20 % à l'échelle mondiale (R. Ivan et al., 2022), tout en influençant significativement le bien-être subjectif, comme en Équateur (O. Zapata, 2022). Il est également associé à la vulnérabilité et à la pauvreté (S. Hallegatte *et al.*, 2016 ; P. Zhang *et al*. 2017 ; C. Herrera *et al.*, 2018 ; F. Baarsch *et al*., 2020). Par exemple, C. Herrera *et al.* (2018) estiment pour le Nicaragua un effet négatif des variables climatiques (précipitations et température) sur le revenu des ménages et la consommation par habitant alors que F. Baarsch *et al*. (2020) concluent que la majorité des économies africaines sont mal adaptées à leurs conditions climatiques avec des pertes moyennes historiques comprises entre 10% et 15% de la croissance du PIB par habitant.

Si la menace du changement climatique sur les conditions de vie et les moyens de subsistance en Afrique est largement documentée, son impact précis sur le bien-être des populations reste à quantifier. Cette lacune justifie la question de recherche suivante : *Quel est l'effet empirique du changement climatique sur le niveau de bien-être en Afrique ?* Une analyse rigoureuse de cette relation s'avère indispensable pour éclairer les politiques d'adaptation et d'atténuation sur le continent.

2. Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette recherche prend en compte la possible endogénéité qui pourrait exister entre le changement climatique et le bien-être.

2.1. Données

Cette étude analyse l'effet de la variabilité climatique sur le bien-être en Afrique, en croisant des données climatiques historiques (précipitations, températures) et extrêmes (inondations, sécheresses) avec l'Indice de Développement Humain (IDH). Les sources incluent le PNUD (IDH), la Banque Mondiale (données climatiques, PIB, indicateurs de gouvernance) et la base EM-DAT (catastrophes naturelles). L'étude inclue également des données sur les facteurs institutionnels (contrôle de la corruption, efficacité de la gouvernance, absence de violence/terrorisme) qui sont recueillies sur le portail des indicateurs de gouvernance dans le monde (WGI) de la Banque Mondiale. La période analysée s'étend de 1996 à 2022 et couvre 37 pays africains, sélectionnés en fonction de la disponibilité des données.

2.2. Techniques et outils de collecte de données

Les différentes données utilisées dans le cadre de cette étude sont des données secondaires. Les données sur l'indice de développement humain (IDH) issues de la base de données et des statistiques du développement du PNUD sont collectées dans le format CSV (Comma-Separated Values). Les données sur les précipitations moyennes annuelles, les températures moyennes annuelles et le PIB sont collectées sous le format Excel. Les données sur les inondations et les sécheresses sont également collectées dans le format Excel.

2.3. Méthode de traitement des données

Les différentes bases téléchargées dans le cadre de ce travail ont été mergé dans un fichier Excel en suivant le format de la compilation des données de panel. Ce format prend en compte à la fois la dimension individuelle des données (pays) et la dimension temporelle (années). Dans le cadre des différentes estimations ainsi que de la production des diverses figures, le logiciel Stata 15 a été utilisé.

2.4. Modèle d'analyse des résultats

Cette étude utilise un **modèle bilatéral** pour analyser l'impact des variables climatiques sur l'IDH (Indice de Développement Humain), dont les valeurs sont bornées entre 0 et 1. Contrairement à une régression OLS classique, cette méthode évite des prédictions en dehors de l'intervalle [0 ;1], comme le montrent les travaux de S. Alan et al. (2011) et B. Lokonon & A. Mbaye (2019). Le modèle, inspiré de F. Dell et al. (2009), s'exprime ainsi :

$$IDH_{it} = \beta X_{it} + \gamma L_{it} + \alpha_i + Y_{it}$$

Où X désigne le vecteur des facteurs liés au climat (température annuelle moyenne, les précipitations moyennes annuelles, les inondations et sécheresses), L est le vecteur des variables de contrôle, β et γ sont les vecteurs des paramètres associés à X et L, respectivement, α_i représente les effets fixes pays, et Y_{it} est le terme d'erreur supposé indépendamment et identiquement distribué. Les variables de contrôles vont inclure le PIB par habitant et les facteurs institutionnels tels que la lutte contre la corruption, l'efficacité de la gouvernance, l'absence de violence/terrorisme.

3. Résultats et discussion

3.1. Dynamiques de l'IDH, des précipitations et de la température en Afrique

La Figure 1 illustre une progression globale de l'IDH en Afrique entre 1996 et 2022, passant de 0,46 (1996-1999) à 0,56 (2015-2022), soit une hausse de 21,74 % (PNUD, 2024). Cependant, une baisse temporaire est observée en 2020-2021, liée aux impacts socio-économiques de la pandémie de COVID-19 sur le continent.

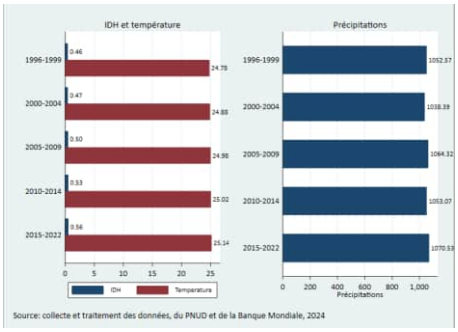


Figure 1 *:* Dynamiques de l'IDH, des précipitations et de la température moyenne en Afrique

Les précipitations ont légèrement baissé (–1,34 %), passant de 1 052,57 mm (1995-1999) à 1 038,39 mm (2000-2004), avant une hausse marquée lors des périodes 2005-2009 (1 064,32 mm) et 2015-2022 (1 070,53 mm), expliquant possiblement les inondations fréquentes observées. Parallèlement, la température moyenne a augmenté de 1,45°C, passant de 24,78°C (1995-1999) à 25,14°C (2015-2022), confirmant une tendance au réchauffement en Afrique.

3.2. Dynamiques de l'IDH, de la sécheresse et des inondations en Afrique

La figure 2 présente les évolutions de l'IDH, de la sécheresse et des inondations en Afrique sur la période 1996-2022.

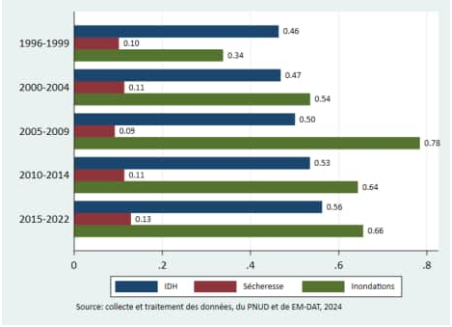


Figure 2 : Dynamiques de l'IDH, des inondations et de la sécheresse en Afrique

Les évolutions de la sécheresse et des inondations sont très erratiques sur la période 1996-2022 en Afrique. Les inondations ont connu une forte hausse lors des périodes 2005-2009,

2010-2014 et 2015-2022, coïncidant avec les pics de précipitations, tandis que la période 1996-1999 a enregistré le niveau le plus bas. À l'inverse, les sécheresses ont été particulièrement sévères entre 2015-2022, 2000-2004 et 2010-2014, alors que 2005-2009 a connu l'épisode le moins intense. Cette alternance reflète globalement les tendances climatiques (température et précipitations), bien que la sécheresse la plus marquée remonte paradoxalement à 2005-2009.

3.3. Estimations

Le tableau 1 présente les résultats des estimations de l'effet du changement climatique sur le bien-être en Afrique en intégrant les effets pour chacune de ces régions (Nord, Sud, Est, Centre, Ouest).

Tableau 1 : Résultats des estimations du modèle bilatérale pour l'Afrique et ses régions

Variables	Afrique	Nord	Sud	Est	Ouest	Centre
Précipitations	0,0001*** (0,00002)	0,00001 (0,0002)	0,00002 (0,0001)	0,00008 (0,00005)	0,0002*** (0,00004)	0,0002 (0,0002)
Température	0,0835* (0,0445)	0,1134*** (0,0366)	0,0521 (0,0665)	0,2922* (0,1643)	0,1085 (0,1604)	0,8426* (0,4625)
Précipitations2	-3,12e-08*** (5,94e-09)	-2,13e-07 (3,84e-07)	-1,66e-08 (5,98e-08)	-2,01e-08 (1,38e-08)	-6,2e-08*** (1,08e-08)	-4,27e-08 (3,55e-08)
Température2	-0,0005 (0,0009)	-0,0021*** (0,0007)	-0,0005 (0,0015)	-0,0047 (0,0033)	-0,0008 (0,0028)	-0,0146 (0,0093)
Sécheresses	0,0051 (0,0031)	-0,0026 (0,0018)	-0,0025 (0,0035)	0,0048 (0,0051)	0,0099 (0,0069)	0,0239*** (0,0025)
Inondations	0,0038** (0,0019)	0,0040*** (0,0009)	0,0053** (0,0024)	-0,0024 (0,0021)	0,0057* (0,0032)	0,0045 (0,0029)
PIBH	2,02e-08*** (5,89e-09)	2,97e-07*** (2,28e-08)	2,32e-07*** (2,15e-08)	6,3e-08*** (4,65e-09)	1,2e-08*** (2,05e-09)	2,79e-08*** (8,66e-09)
Lutte contre la corruption	-0,0006 (0,0005)	-0,0003 (0,0004)	-0,0026** (0,0013)	-0,0008** (0,0003)	0,0001 (0,0006)	-0,0013 (0,0014)
Efficacité de la gouvernance	0,0009 (0,0011)	0,0004** (0,0002)	-0,00004 (0,0011)	0,0011 (0,0007)	0,0006 (0,0008)	0,0080 (0,0055)
Stabilité/Absence de violence	-0,0007 (0,0005)	-0,0012*** (0,0002)	0,0007 (0,0007)	-0,0008 (0,0005)	-0,0009* (0,0005)	-0,0021* (0,0011)
Observations	999	108	162	189	351	189
X^2	170,35	394,82	291,12	2829,26	278,81	779,89
$Prob > X^2$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

*p<0,1 ; **p<0,05 ; ***p<0,01*

Les travaux de Delvigne et Grandin (1969), complétés par les recherches de Rougerie (1961), Daveau et al. (1962), King (1962) et Boulet (1968), ont permis d'établir une séquence évolutive des glacis en Côte d'Ivoire. Ces études révèlent trois surfaces anciennes principales : le niveau bauxitique (SI), le niveau intermédiaire (SII) et le haut-glacis (SIII), corrélables à l'African Surface de King (1962) d'âge éocène. Ces formations témoignent d'une longue stabilité morphoclimatique sous des paléoclimats distincts de l'actuel.

Le glacis cuirassé (SIII), associé à des conditions arides, montre un mécanisme particulier de migration lente des matériaux vers les piémonts, où ils se fossilisent sous l'action des hydroxydes métalliques lors du retour à des climats plus humides. Les observations de Rougerie dans les Monts Goma, Bouna et Katiola mettent en évidence des bas-glacis récents

(SIV) caractérisés par des carapaces peu cimentées et des chenaux instables, preuves de leur formation sous les conditions climatiques actuelles.

Ces bas-glacis, bien que fonctionnels et localement importants, apparaissent comme des formations éphémères dans le paysage à long terme, comme l'a souligné Rougerie. Leur dynamique actuelle, marquée par une alternance de phases de dissection et de colmatage, confirme leur instabilité face aux processus érosifs contemporains.s.

Les inondations (nombre d'inondation enregistré par an) entrent positivement dans l'explication du bien-être en Afrique et dans toutes ses régions à l'exception de la région Est où le lien est négatif. Des auteurs ont mis en exergue l'existence d'une relation négative entre les inondations et le développement via la santé (GIEC, 2023), l'éducation (F.Marchetta et al., 2019) et le revenu des ménages (S. Hallegate et al., 2016). L'effet négatif obtenu dans la région de l'est est cohérent avec celui des précipitations (relation en forme de U inversé).

Dans le tableau 2, l'attention est portée sur l'effet du changement climatique sur le bien-être par classe de revenu.

Tableau 2 : Résultats des estimations du modèle bilatérale par classe de revenu

Variables	Élevé	Faible	Moyen inférieur	Moyen supérieur
Précipitations	-0,00004***	0,0002***	0,0001***	0,00006
	(1,65e-14)	(0,00007)	(0,00005)	(0,00004)
Température	-0,7530***	0,2948**	0,0183	-0,3063
	(1,23e-08)	(0,1246)	(0,0366)	(0,1932)
Précipitations2	1,33e-08***	-4,58e-08**	-2,98e-08*	-1,47e-08*
	(9,51e-18)	(2,10e-08)	(1,70e-08)	(8,31e-09)
Température2	0,0139***	-0,0046*	0,0008	0,0083**
	(2,30e-10)	(0,0024)	(0,0007)	(0,0043)
Sécheresses		0,0059**	0,0026	0,0006
		(0,0029)	(0,0050)	(0,0062)
Inondations		-0,0045	0,0039*	0,00006
		(0,0029)	(0,0023)	(0,0087)
PIBH	2,93e-07***	7,41e-08***	1,67e-08***	1,43e-08***
	(8,29e-17)	(7,55e-09)	(2,32e-09)	(1,55e-09)
Lutte contre la corruption	-0,0002***	-0,0019**	0,0004	-0,0008
	(3,22e-13)	(0,0009)	(0,0007)	(0,0008)
Efficacité de la gouvernance	0,0006***	0,0046	-0,0007	0,0002
	(8,22e-13)	(0,0029)	(0,0007)	(0,0009)
Stabilité/Absence de violence	0,0001***	-0,0011	-0,0002	0,0004
	(8,87e-13)	(0,0005)	(0,0007)	(0,0006)
Observations	27	351	486	135
X^2	3,75e+15	788,15	271,90	3,31
$Prob > X^2$	0,0000	0,0000	0,0000	0,9733

$^{*}p<0,1$; $^{**}p<0,05$; $^{***}p<0,01^{*}$

Les estimations révèlent une significativité globale des variables climatiques, à l'exception des pays à revenu élevé (représentés uniquement par les Seychelles), où sécheresses et inondations sont exclues du modèle en raison de leur rareté (2 inondations sur 1996-2022). Les résultats confirment que l'impact du climat sur le bien-être transcende les catégories de revenu, nécessitant une action collective internationale. Des interventions concrètes, telles que l'agriculture intelligente face au climat, les systèmes d'alerte précoce, la résilience des infrastructures de santé ou le financement décentralisé de la lutte contre le changement climatique sont nécessaires dans la lutte contre les effets du changement climatique.

Conclusion

Cet article à analyser l'effet des crises climatiques sur le bien-être des populations africaines. Ces résultats soulignent la nécessité de politiques d'adaptation au changement climatique, adaptées aux contextes nationaux, pour atténuer ses effets négatifs sur le bien-être en Afrique. Il est crucial, notamment durant les saisons pluvieuses, de sensibiliser et de protéger les populations contre les maladies hydriques et vectorielles telles que la fièvre typhoïde, la diarrhée ou le paludisme. Par ailleurs, des politiques de soutien à la productivité, en particulier dans le secteur agricole, doivent promouvoir l'adoption de technologies résilientes (semences améliorées, engrais) afin de stimuler la croissance économique et renforcer le bien-être. Le renforcement des institutions, en cohérence avec les structures nationales, est également essentiel. Enfin, des efforts doivent être déployés pour réduire les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique. Les recherches futures pourraient explorer d'autres indicateurs du développement, compte tenu des limites de l'IDH en tant que mesure du bien-être.

Bibliographie

Alan S., Honoré B. E., Hu L., et Leth-Pedersen S., 2011: *Estimation of Panel Data Regression Models with Two-sided Censoring or Truncation.*

Baarsch F., Granadillos J. R., Hare W., Knaus M., Krapp M., Schaeffer M., et Lotz-Campen H., 2020: *The Impact of Climate Change on Incomes and Convergence in Africa*. World Development, **126**, 2-13.

Dell F., Benjamin A., et Olken., 2009: *Temperature and income: Reconciling New Cross-Sectional and Panel Estimates.* The American Economic Review, **99** (2), 198-204.

GIEC., 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.

Hallegatte S., Rogelj J., Allen M., et al., 2016: *Mapping the climate change challenge*. Nature Climate Change, **6**, 663–668.

Herrera C., Ruerd R., et Geske D., 2018: *Climate variability and vulnerability to poverty in Nicaragua*. Journal of Environmental Economics and Policy, 1-21.

Honoré B. E., 1992: *Trimmed LAD and least squares estimation of truncated and censored regression models with fixed effects*. Econometrica, **60** (3), 533-565.

Ivan R., Gary L., et Ariel O., 2021: The Economic Effects of Climate Change.

Kubik Z., et Maurel M., 2016*: Chocs météorologiques, production agricole et migrations : données probantes en Tanzanie.* The Journal of Development Studies, **52** (5), 1-16.

Lokonon B., et Mbaye A., 2019: *Implication of Climate-Related Factors on Living Standards: Evidence from Sub-Saharan Africa.* Economics Bulletin, **39** (2), 1404-1417.

Malpede M., et Percoco M., 2024: *Climate, desertification, and local human development: Evidence from 1564 regions around the world*. The Annals of Regional Science, **72** (2), 377-405.

Marchetta F., David E., et Luca T., 2019: *Le rôle de la météo sur la scolarisation et le travail des jeunes adultes à Madagascar*. American Journal of Agricultural Economics, **101** (4), 1203-1227.

Randell H., et Gray C., 2016: *Variabilité climatique et niveau d'éducation : données probantes de l'Éthiopie rurale.* Global Environmental Change, **41**, 111-123.

UNICEF & African Union Commission., 2021*: Education spending in Africa: The impacts of COVID-19 and possible recovery pathways.* United Nations Children's Fund.

Zapata O., 2022: *Happiness in the tropics: Climate variables and subjective well-being.* Environment and Development Economics, **27**, 250-271.

Zhang P., Zhang J., et Chen M., 2017: *Economic impacts of climate change on agriculture: The importance of additional climatic variables other than temperature and precipitation.* Journal of Environmental Economics and Management, **83**, 8-31.

LES DETERMINANTS SOCIODEMOGRAPHIQUES ET SPATIAUX DES RISQUES D'INONDATION DANS LA COMMUNE GOLFE 6 AU SUD-TOGO

Yao Séna ADOKANOU[1], Koudzo SOKEMAWU[2]

[1]*Doctorant en Géographie, Université de Lomé, Tel : 00228 91 09 64 81, Email : renaudadok@gmail.com*
[2]*Professeur Titulaire, Université de Lomé, Tel : 00228 90 27 30 21, Email : yves.soke@yahoo.fr*

Résumé : *La population du District Autonome du Grand Lomé, surtout les localités situées dans la basse vallée de la rivière Zio, connait périodiquement des manifestations des risques climatiques majeurs à l'instar des inondations. En intensité et en fréquence, ce phénomène devient récurrent et dévastateur sur le plan humain et du développement. Ces inondations sont dues à de multiples facteurs tant naturels qu'humains. Cette recherche a pour objectif d'analyser les différentes causes des inondations dans la commune Golfe 6 au Sud-Togo. A travers une approche basée sur la recherche documentaire, l'analyse des données cartographiques et les enquêtes de terrain, les résultats ont permis de faire ressortir que les facteurs humains viennent aggraver les effets des facteurs physiques liés aux inondations récurrentes dans le Golfe 6. Ces divers facteurs expliquent au mieux la susceptibilité aux inondations des différentes localités.*

Mots-clés : *Risques d'inondation, déterminants, commune Golfe 6, Sud-Togo.*

Abstract : *The population of the Autonomous District of Greater Lomé, particularly the areas located in the lower valley of the Zio River, periodically experiences manifestations of major climate risks, notably flooding. In both intensity and frequency, this phenomenon has become recurrent and devastating, impacting human life and development. These floods are attributed to multiple factors, both natural and human-induced. This research aims to analyze the various causes of flooding in the Golfe 6 municipality in southern Togo. Through a methodological approach combining documentary research, cartographic data analysis, and field surveys, the findings reveal that human factors significantly exacerbate the effects of physical factors contributing to recurrent floods in Golfe 6. These various elements provide a comprehensive understanding of the flood vulnerability affecting different localities.*

Keywords: *Flood risks, determinants, Golfe 6 municipality, Southern Togo.*

Introduction

Les risques d'inondation sont de plus en plus fréquents et graves dans de nombreuses régions du monde. Ces risques sont une réponse à plusieurs facteurs à l'instar des facteurs anthropiques qui sont liés aux activités humaines et qui viennent modifier ou aggraver les conditions de gestion des eaux et de régulation des crues. Dans de nombreuses régions du monde, des inondations extrêmes ont été observées et de graves conséquences sur les écosystèmes, la vie humaine et les activités socio-économiques ont été signalées (Komi *et al*, 2016).

Ces derniers sont la conséquence de l'action combinée des extrêmes climatiques et des actions anthropiques. Elles relèvent d'une part de l'urbanisation croissante, de la forte demande pressante en espace due à la démographie exponentielle modifiant les écosystèmes naturels et d'autre part du fait du retour des années plus humides (Adokanou, 2022) et à la dégradation de l'environnement.

Depuis 2005, la fréquence et la récurrence du phénomène inondation (Adjoussi *et al*, 2017) dans les quartiers qui se développent surtout dans les zones inconstructibles, les marécages et les zones à risque deviennent inquiétantes dans la ville de Lomé. Ces localités à l'exemple de celles de la périphérie Est, connaissent fréquemment des inondations qui engendrent des conséquences alarmantes ou drastiques sur les activités socio-économiques et culturelles des populations en raison de la pression croissante sur l'utilisation des terres due au développement social et économique.

Au Togo, la maîtrise de l'espace géographique reste encore une problématique (Adjoussi *et al*, 2017). La technologie aujourd'hui, et notamment les technologies dites de maitrise de l'espace, par une approche plus globale, permettent de prendre en compte les éléments les plus complexes et les plus dynamiques d'un milieu, afin de faire cohabiter tant bien que mal l'homme et les risques hydrologiques qui l'entourent au quotidien (Tchameni, 2020). Depuis quelques années, en dépit des stratégies de résistance qui accompagnent le développement urbain et la construction des bassins d'orage dans le but de minimiser ou réduire au mieux les risques d'inondation, on enregistre encore des inondations dommageables. En termes de connaissances, de stratégies adéquates et de décisions pour une politique d'aménagement, De Bruijn (2004) soutient qu'il nous reste plein de choses à faire car les inondations sont, selon lui, des évènements naturels qui n'arrêtent jamais de se produire.

Dans ce contexte, il est important d'analyser les facteurs humains des risques d'inondation dans la commune Golfe 6 dans le District Autonome du Grand Lomé (DAGL). Pour ce faire, une analyse des origines humaines qui exacerbent souvent les effets des crues et augmentent la vulnérabilité des populations aux inondations peut s'avérer nécessaire pour comprendre le fonctionnement et la dynamique de cet espace. Ainsi, la présente étude a pour objectif d'analyser les différents facteurs anthropiques qui sont responsables les inondations dans la commune Golfe 6 au Sud-Togo.

1. Méthodologie de travail

La méthodologie utilisée est une combinaison des techniques qualitatives et quantitatives. Ainsi, elle s'est appuyée sur l'exploration documentaire, l'observation, la réalisation d'enquêtes de terrain et l'analyse des données hydrométéorologiques, cartographiques et des images satellitaires. Plusieurs outils tels que le récepteur GPS mobile (pour prendre les coordonnées géographiques), les images satellitaires, les cartes de base et un questionnaire d'enquête conçu dans l'application Kobocollect sont utilisés. Outre ces matériels et outils précités, d'autres à l'instar de ENVI 5.0 classique (pour classifier les images Landsat) ; QGis 3. 24 ; Chronostat ; XLSTATTrial ; Excel et Word ont servi pour le traitement des données.

La collecte de données à travers la documentation a été complétée par des mesures et toute autre information possible, utile et nécessaire dans la zone d'étude. En effet, l'observation, les entretiens, un focus group a été organisé et un questionnaire a été administré aux populations locales de la commune en vue recueillir des informations sur la récurrence et la fréquence du phénomène inondation et analyser les stratégies d'adaptation. Les quartiers où se sont déroulées les enquêtes ont été sélectionnés sur la base de la récurrence des inondations et de leur proximité au cours d'eau Zio mais avec un échantillon de personnes habitant les zones jugées vulnérables. Selon les résultats du RGPH-5, la population de l'aire d'étude en 2022 s'élève à 181 561 habitants avec 4.2 personnes par ménage. Un échantillon non probabiliste mais représentatif de la population a été ciblé dans chacun des quartiers jugés vulnérables correspondant à un effectif de 129 ménages.

2. Résultats

2.1. Présentation et les caractéristiques humaines de l'aire d'étude

La commune Golfe 6 fait partie intégrante de la Préfecture de Golfe ou du District Autonome du Grand Lomé (DAGL). Zone périphérique de Lomé « géoréférencée » entre 1°18 et 1°22 Longitude Est et de 6°9 et de 6°12 Latitude Nord, la commune Golfe 6 est limitée au Nord par la commune Zio 1, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par la commune Lacs 3 et à l'Ouest par la commune Golfe 1. Elle se compose de 11 quartiers autrefois villages

notamment Gbétsogbé, Noudokopé, Adamavo, Logoti, Doévi-kopé, Avépozo, Dévégo, Kpogan, Boboloè, Agodekè, Baguida. La figure1 montre la localisation du secteur d'étude.

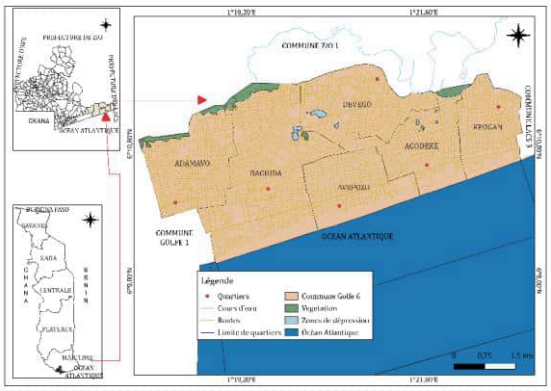


Figure 1 : Localisation de la commune Golfe 6

Source : INSEED, 2021, carte modifiée par Y. S. Adokanou, 2022.

Marquée par une topographie subplane, l'aire d'étude couvre une superficie de 47 km², dont 32 km^2 d'espace habité et 15 km^2 d'espace non habité. Elle bénéficie d'un littoral de l'ouest vers l'est d'une longueur d'environ 10 km et s'étend de la plage au sud jusqu'à la vallée de la rivière Zio au nord sur environ 5 km. Ainsi, Adamavo, Agodékè, Baguida, Dévego, et Kpogan ont été retenus suivant le critère de fréquence des cas d'inondations ces dernières années dans ces quartiers. Tous ces quartiers sont situés au Nord à la lisière de la rivière Zio. Il est question ici d'analyser l'aléa inondation dans la commune Golfe 6. Ainsi, l'analyse du risque d'inondation dans la commune Golfe 6 nécessite dans un premier temps, une détermination des paramètres physiques lesquels sont déjà abordés par Adokanou *et al* (2025) dans un autre article et ceux humains, facteurs des inondations, et en second lieu, une cartographie et une évaluation du risque d'inondation de ladite commune.

2.2. Les déterminants humains, facteurs des inondations dans la commune Golfe 6

La dynamique spatio-temporelle de l'occupation du sol et l'émiettement des espaces sont des importants facteurs aggravant les risques d'inondation.

2.2.1. Une démographie galopante

Une forte croissance démographique, corollée à la forte demande en espace avec l'occupation des zones susceptible d'inondation, est l'une des causes de la récurrence des inondations dans la commune Golfe 6. L'emprise humaine dans la plaine d'épandage de Zio joue un rôle prépondérant dans l'accentuation du phénomène d'inondation et rend vulnérable la population aux inondations.

L'augmentation de la population explique l'occupation, par les populations, des terres autrefois cultivables et non habitables, en l'occurrence le lit et la vallée du Zio. La planche 1 illustre bien le phénomène d'inondation dans la commune Golfe 6.



A : Habitations ou concessions - B : Elevage - C : Dépotoirs sauvages

Planche 1 : Occupation du lit de Zio dans la commune Golfe 6

Source : Enquêtes de terrain, août 2022.

Cette occupation anarchique et incontrôlée du lit de la rivière Zio et la mauvaise gestion des déchets (Planche 1c) sont à l'origine de l'accentuation des inondations. En effet, l'occupation su lit de la rivière par les bâtis (Planche 1a), la pratique de l'élevage (Planche 1b) et la création de dépotoirs sauvages dans le lit de Zio laquelle est considérée comme un comportement incivique bouleversent la morphologie, la dynamique et la structure de la vallée qui est sensée faciliter l'écoulement des eaux de la rivière. Tous ces éléments susmentionnés modifiant les conditions naturelles du chenal d'écoulement des eaux, constituent l'origine du débordement des eaux. Ces facteurs aggravants des inondations expliquent au mieux la fréquence des inondations dans l'aire d'étude en ce sens qu'ils couplent leurs effets aux conditions naturelles du milieu à l'instar de la nature du sol et de la faible profondeur (trois mètres en période de sécheresse) des nappes phréatiques, selon Houedakor (2013). L'infiltration tend à chuter et la capacité de drainage devient insuffisante laissant place par ricochet, à l'écoulement surfacique des eaux pluviales et au débordement du cours d'eau. Cette anthropisation de la plaine alluviale de Zio, est source des phases de submersion fréquentes durant la période pluviale (Figure 2).

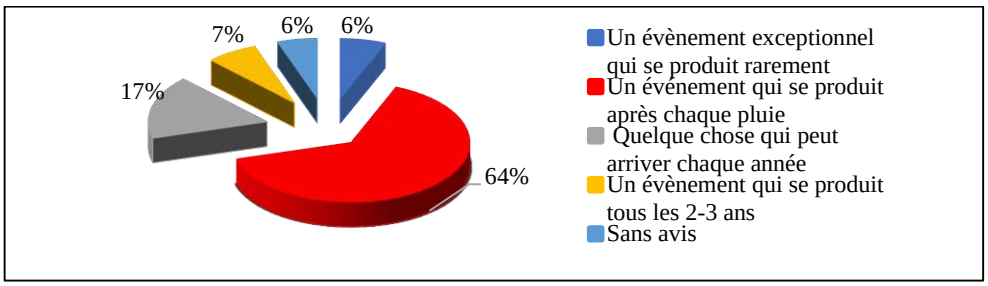


Figure 2 : Fréquence des inondations par la population

Source : Enquêtes de terrain, août 2022.

L'analyse de la Figure 2 montre que 64% de la population cible estime que les inondations sont un phénomène qui se produit après chaque pluie ; cela témoigne la susceptibilité de la commune Golfe 6 aux inondations.

2.2.2. L'analyse spatio-temporelles de l'occupation du sol

La croissance exponentielle de la population et l'occupation anarchique et accélérée du sol ont conduit à une métamorphose de la structuration de l'espace ainsi qu'à l'évolution des différentes composantes du milieu. L'analyse dite diachronique de l'occupation du sol entre 1981 et 2021 en passant par 2001 nous permet de mieux présenter cette évolution. La figure 3 illustre bien l'évolution de l'occupation du sol.

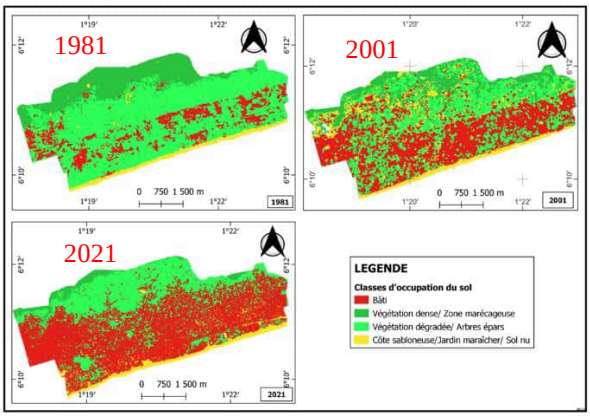


Figure 3 : Occupation du sol

Source : Y. S. Adokanou, 2022, à partir d'image LandSat.

Entre 1981 et 2021, toutes ces superficies ont connu des évolutions, certaines dans le sens progressif et d'autres dans le sens régressif. Il ressort donc de cette analyse que pendant la période allant de 1981 à 2021, la superficie du bâti a connu une augmentation exponentielle de 320%. Cette augmentation n'est que le fruit de l'augmentation de la population et du besoin d'installation humaine et d'infrastructures. Toujours sur la même période la végétation dense, contrairement au bâti, connait une réduction de 74% pendant que celle de la végétation dégradée est de 53%. La réduction de la superficie de la végétation est une conséquence directe de l'occupation humaine dans l'optique de s'installer.

Quant à la superficie de la côte sablonneuse, elle connait sur la même période une augmentation de 59% lié à la destruction du couvert végétal. Certes, la diminution remarquée entre 2001 et 2021 de la superficie de la côte sablonneuse est l'effet de la dégradation de la côte, fruit de l'avancée marine. La commune Golfe 6 connait des inondations en raison de la forte demande en espace de construction et l'urbanisation accélérée de la ville de Lomé qui a phagocyté ses zones périphériques. Ce qui pousse la population à s'installer dans les lits et vallées des cours d'eau comme c'est le cas de la rivière Zio, augmentant donc les risques d'inondation dans la commune de Golfe 6, déjà prédisposée à ce fléau.

3. Discussion

Les résultats de cette recherche montrent bien que la récurrence des inondations dans la commune Golfe 6 avaient pour origine divers déterminants naturels (Adokanou *et al*, 2025) auxquels viennent s'ajouter les facteurs anthropiques très marqués. Les résultats de cette recherche ont montré que l'homme, dans le but de satisfaire son désir ardent de s'offrir une habitation à titre personnel et ce, en fonction des moyens dont il dispose a contribué à la modification de l'ordre naturel. Cette modification est due à pression de la population sur les ressources naturelles et sa croissance qui, à son tour accentue la vulnérabilité de cette dernière aux risques d'inondation dans le secteur d'étude. La pression sur l'espace disponible pour la construction des habitations, l'agriculture et la mauvaise gestion des déchets conduisent à une occupation anarchique des terres même dans les zones à risque d'inondation (Klassou, 2014). Des résultats similaires ont été trouvés par Bani et Yonkeu (2016) dans la ville de Ouagadougou, Djangbedja et Koungbanane (2019) dans la préfecture de Kpendjal au Togo, Issaou (2012) dans la ville d'Atakpamé et Anié au Togo. L'étude a montré que l'expansion urbaine, consommatrice d'espace est l'un des éléments explicatifs des inondations. C'est ce qui atteste les résultats des travaux de Komi *et al* (2019).

Conclusion

Plusieurs facteurs sont à la base de la récurrence du phénomène inondation dans la commune Golfe 6. Les risques d'inondation sont un phénomène aggravé par les facteurs humains qui font que les impacts de ces risques ne cessent de croitre à cause de la dynamique de développement urbain et rural. Dans cette présente étude, des facteurs aggravants des inondations ont été identifiés à partir des enquêtes, des observations sur le terrain et à partir du traitement des images satellitaires. Il s'agit en effet de la mauvaise gestion des déchets, de la croissance démographique rapide et la pression foncière, de l'urbanisation anarchique et accélérés et enfin de l'exploitation incontrôlée des ressources naturelles qui viennent exacerber ces risques. Il faut certes prendre en compte ces facteurs dans la gestion des risques d'inondation afin de créer des sociétés plus résilientes face aux défis environnementaux actuels et futurs.

Remerciements

Nos remerciements vont à l'Association Internationale de Climatologie (AIC), au Docteur Awa Krou Malam Boukar, Maître de Conférences et Directeur Générale de l'EAMAU, Lomé et au Professeur Koudzo Sokémawu, Professeur Titulaire de Géographie, Directeur de l'Ecole Doctorale Lettres et Humanités (ED730-LH) de Université de Lomé, Togo.

Bibliographie

Adjoussi P., N'kere K et Sourou E, 2017, « Gestion des inondations dans la basse vallée du Zio à travers l'exemple du quartier d'Agoè-Zongo à Lomé », Saint-Louis, In : *Revue de géographie du Laboratoire Leïdi « DTD »*, n°**17**, Lomé, p. 17-37.

Adokanou Y. S., 2022, *Analyse des risques d'inondation et perspectives d'aménagement dans la commune Golfe 6 (Lomé-Togo)*, Mémoire de Master, spécialité Espaces Sociétés Aménagement, Département de Géographie, Université de Lomé, Lomé, 121 p.

Adokanou Y. S., Malam Boukar A. K., Sokemawu K., 2025, « Analyse des facteurs prédisposant les localités de la commune Golfe 6 à Lomé aux risques d'inondation », In : *Revue d'Analyse des vulnérabilités Socio-Enironnementales*, Département de Géographie de l'Université Alassane Ouattara, Bouaké, **5**, p. 507-527.

Bani S. S., Yonkeu S., 2016, « Risques d'inondation dans la ville de Ouagadougou : cartographie des zones à risques et mesures de prévention », In : *Journal Ouest-Africain des Sciences de Gestion*, Vol.**1**, N°1, Université Aube nouvelle, Ouagadougou, p. 1-18.

De Bruijn K., 2004, «Resilience and flood risk management», In *Water Policy*, Vol**. 6**, N°1, Delft, p. 53- 66.

Djangbedja M., Koungbanane D., 2019, « Rôle des facteurs naturels et anthropiques dans les inondations de 2007 dans la préfecture de Kpendjal », In *Climat et Développement*, Revue scientifique semestrielle, N°**26**, Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Bénin, p. 1-20.

Houedakor Z. K., 2013, « Etat de la nappe phréatique du bassin sédimentaire sableux de la ville de Lomé » In : *À H ɔH ɔ*, Revue de Géographie du LARDYMES, N°**15**, Université de Lomé, Lomé, p. 176-186.

Issaou L., 2012, *Vulnérabilité des communautés locales aux inondations dans l'Est de la Région des Plateaux (Togo)*, Mémoire de Master de Géographie, spécialité Changements Climatiques et Développement Durable, Université de Lomé, Lomé, 93 p.

Klassou K. S., 2014, « L'influence humaine dans l'origine et la gravite des inondations au Togo : cas de l'aménagement de l'espace dans la grande banlieue nord de Lomé (Togblé- Adétikopé) », In *GEOTROPE*, Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, n° **2**, 2014, IGT, Abidjan, p. 3-15.

Komi K., Barnabas A., Bernd D., Kokou K., Bossa A., Lawin A. E., Adounkpè J., 2019, «Flood risk in the Oti River basin, Togo - analysis and policy implications», In: *Regional Climate Change Serie: Floods*, University of Lomé, Lomé, p. 36-42.

Tchameni F. E., 2020, *Mise en place d'un SIG de prévention des risques d'inondaton dans le Bassin Versant de Tongo-Bassa à Douala (Caméroun)*, Mémoire de Master en géographie, Université de Douala, Douala, 200 p.

GESTION DES RISQUES D'INONDATION DANS LA COMMUNE DE BONOU AU SUD-EST DU BENIN

Arielle DAH-ASSIDAGBENON, Tchékpo Théodore ADJAKPA

[1]*Centre Interfacultaire de Formation et de Recherches en Environnement pour le Développement Durable de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (CIFRED/UAC) ; dahassidagbenonarielle@gmail.com ,*

[2] *Centre Interfacultaire de Formation et de Recherches en Environnement pour le Développement Durable de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin (CIFRED/UAC) ; adjakpatheo@yahoo.fr*

Résumé : *Les inondations constituent un défi majeur pour la Commune de Bonou. Cette étude vise à analyser la gestion des risques d'inondations dans cette Commune. La méthodologie repose sur la recherche documentaire, les enquêtes auprès de 186 ménages et des autorités locales avec la cartographie des zones à risque. Les résultats montrent que le risque d'inondation est particulièrement élevé pour les habitations situées à proximité du fleuve et de ses affluents provoquant 99,28 % des cas de paludisme et 70,5 % de diarrhée. Une approche intégrée, combinant des mesures structurelles et non structurelles ainsi qu'une coordination renforcée des actions est donc nécessaire pour une gestion efficace des risques d'inondations à Bonou.*

Mots clés *: Inondations, Bonou, Mesures, Gestion.*

Abstract: Flood risk management in the commune of Bonou in the south-east of Benin. *Flooding poses a major challenge for the municipality of Bonou. This study aims to analyze flood risk management in this municipality. The methodology is based on desk research, surveys of 186 households and local authorities, and mapping of risk areas. The results show that the risk of flooding is particularly high for homes located near the river and its tributaries, causing 99.28% of malaria cases and 70.5% of diarrhea cases. An integrated approach, combining structural and non-structural measures, as well as enhanced coordination of actions, is therefore necessary for effective flood risk management in Bonou.*

Keywords: *Floods, Bonou, Measures, Management.*

Introduction

Plusieurs pays dans le monde ont connu des inondations intenses ces dernières années. Dès lors, l'inondation peut être définie comme « un phénomène de submersion temporaire, naturelle ou artificielle, d'un espace terrestre » (H. Scrarewell, 2004, p. 21). Elle fait partie des événements naturels les plus dangereux et cause énormément de dégâts, dont l'Afrique de l'Ouest ne reste pas épargnée. Les communautés du bassin versant du Bas-Mono du Bénin et du Togo ont été plusieurs fois victimes d'inondation (N. Dossoumou et *al.* 2023, p.16). En octobre 2019, le niveau du fleuve Mono a bondi de près d'un mètre en quatre jours, provoquant des inondations qui ont touché environ 50 000 habitants du Bénin et du Togo (S. Nicholson et *al*. 2019, p. 1). Au Bénin, les inondations constituent un véritable problème dans certaines communes. Dans les Communes de Malanville et de Karimama, elles provoquent une augmentation des cas de diverses maladies telles que l'anémie, les troubles gastro-intestinaux, le choléra et bien d'autres maladies, et ont également un impact significatif sur le quotidien des habitants en altérant leur environnement (T. T. Adjakpa, 2016, p. 145). D'énormes incidences économiques et environnementales telles que la dégradation des voies en terre, la destruction des habitations et des infrastructures sociocommunautaires sont enregistrés dans la commune d'Athiémé (A. Ahouansou, 2014, p. 40). La Commune de Bonou, un secteur situé à l'Ouest abord du fleuve et se trouvant dans la vallée de l'Ouémé en aval du bassin versant, n'échappe pas à ce phénomène et subit directement les conséquences de ces événements (D. Kodja et *al*., 2013, p. 315). Face à cette situation, différentes réponses sont apportées aussi bien par les populations sinistrées que par les autorités locales.

1. Matériel et méthodes

1.1. Milieu d'étude

La Commune de Bonou est située dans le département de l'Ouémé entre 6°72' et 7°35' latitude Nord et entre 2°15' et 2°40' longitude Est (figure 1).

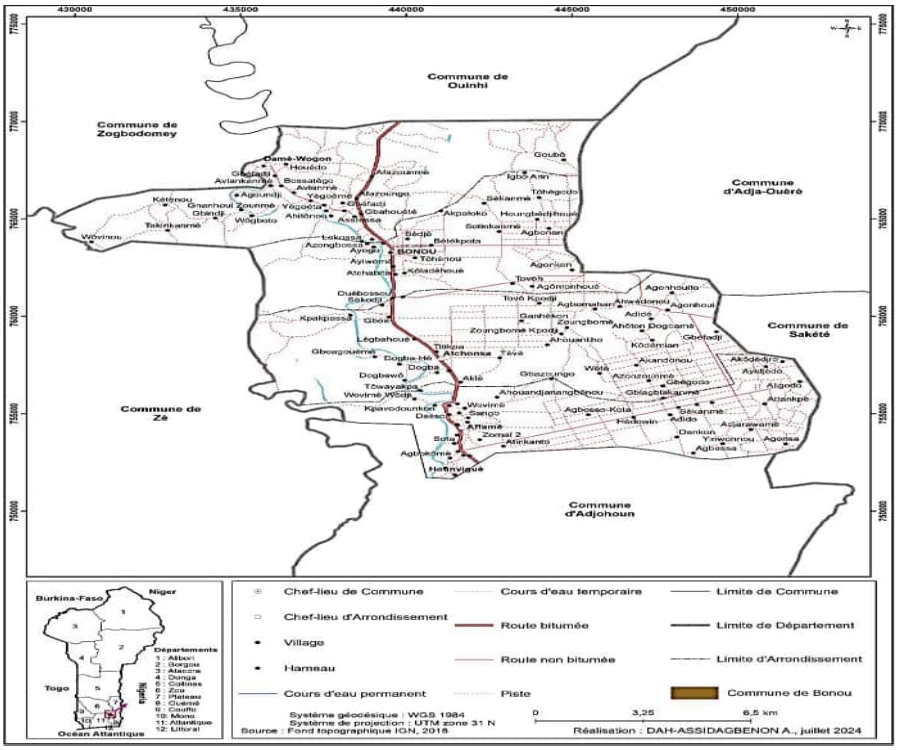


Figure 1. Carte géographique de la Commune de Bonou

Elle est limitée au Nord par la Commune d'Ouinhi, au Sud par la Commune d'Adjohoun, à l'Est par les communes de Sakété et d'Adja-Ouèrè et à l'Ouest par les Communes de Zê et de Zogbodomè (Figure 1). Elle occupe une superficie de 250 km² et compte 05 arrondissements subdivisés en 34 villages. Les arrondissements se présentent comme suit : Affamè, Atchonsa, Damè-Wogon, Hounviguè et Bonou.

1.2. Approche Méthodologique

Dans le but d'atteindre les objectifs de cette étude, des données ont été collectées et traitées.

1.2.1. Données utilisées

Les données utilisées sont les données démographiques disponibles à l'INStaD (RPGH4, 2013) et les données sur les précipitations et climatiques extraites des données disponible à l'Agence Nationale de la Météorologie du Bénin sur la période de 1982-2022 et les données de la Direction Générale de l'Eau (DG-Eau). Les individus retenus pour l'enquête ont répondu aux critères ci-après : avoir résidé dans la Commune de Bonou au cours des 20 dernières années ; pendant un certain nombre d'années; être âgé de plus de 18 ans et vivre dans les villages inondables de l'arrondissement; être membre d'un ménage résidant dans un secteur exposé aux inondations; être chef de famille ou représentant du chef de famille du ménage ; être acteur impliqué dans la protection des populations contre les conséquences des inondations et être une autorité locale ou autorité politico-administrative contribuant à la gestion des risques d'inondation dans la Commune de Bonou. Les enquêtes de terrain ont eu

lieu dans les 06 villages totalement inondés (Gnanhouizoumè, Azongbossa, Lokossa, Ayogo, Dogba, Dogba He). Les en quêtes de terrain ont eu lieu dans ces 06 villages.

1.2.2. Echantillonnage

La taille de l'échantillon (n) est déterminée suivant la formule de Schwartz (1995) à savoir :

$$\boldsymbol{n = \frac{Z^2 x\, p\,(1-p)}{d^2}} \qquad \boldsymbol{avec}$$

(n) est la taille de l'échantillon ; (Z) la valeur de l'écart-type correspondant au niveau de confiance choisi ; soit 1,96 pour un niveau de confiance de 95% dans le cas ici présent ; (p) proportion attendue de l'événement étudié dans la population, soit $p = \frac{n}{N}$ avec n = effectif des villages les plus inondés et N= effectif total des ménages de la Commune en 2013

- (d) marge d'erreur tolérée qui est de 5 %. Le tableau III présente l'effectif de la taille de l'échantillon selon la formule Schwarz (1995).

Tableau 3. Détermination de la taille de l'échantillon (n)

Commune	Nombre total de la population en 2013	Nombre de la population des villages inondés en 2022	Z^2	p	1-p	d^2	Taille de l'échantillon (n)
Bonou	44348	38478	3.8416	0.86	0.14	0.0025	186

Source : Résultats des travaux de terrain, novembre 2023

Au total 186 ménages ont été investigués dans les 26 villages inondés en 2022 lors des travaux de terrain. Les travaux ont été effectués dans le mois de Novembre 2023.

2. Résultats

2.1. Facteurs naturels et anthropiques

Chaque année, les populations de la Commune de Bonou connaissent deux types d'inondations : une qui est liée à la tombée excessive de la pluie du mois d'avril à juillet, de Septembre à octobre, et une autre : la crue, provoquée par les grandes eaux de l'Ouémé quittant leurs lits et envahissant toutes les vallées. Durant les périodes de forte pluviométrie (Mai, Juin, Juillet, Août, Septembre) et de crues, les fortes pluies occasionnent simultanément des cas d'inondation. Les activités anthropiques, notamment les activités agricoles sont potentiellement d'autres formes d'interventions humaines sur l'environnement, sont également considérées comme des facteurs majeurs selon 41,43% des personnes retenues pour l'enquête. L'installation à proximité des berges est un autre facteur significatif selon 40% des personnes retenues pour l'enquête. La présence de zones marécageuses et l'occupation des exutoires naturels, bien que moins fréquemment citées (avec respectivement 2,14% et 4,29%), indiquent que les caractéristiques géographiques et les modifications du paysage naturel jouent également un rôle dans la vulnérabilité de la région aux inondations.

2.2. Conséquences des inondations.

La destruction des champs est la conséquence la plus fréquemment rapportée, avec une fréquence de 87,86 %, soulignant l'impact critique des inondations sur l'agriculture, une activité essentielle pour la survie économique et alimentaire de la communauté. De près, la perte des récoltes est signalée par 85,71 % des répondants, reflétant les graves répercussions sur la sécurité alimentaire et les revenus agricoles. La destruction des habitations et la perte de

revenus économiques, avec respectivement 59,29 % et 60,71 % des enquêtés les mentionnant, mettent en lumière les perturbations sévères du cadre de vie et de l'économie locale. La dégradation des infrastructures, telles que les routes et les ponts (65,71 %), ainsi que les difficultés d'accès aux installations éducatives et sanitaires, sont également des conséquences significatives, indiquant des effets à long terme sur l'éducation, la santé, et la mobilité au sein de la Commune de Bonou. Par ailleurs, l'impact sur la vie humaine est palpable, avec une minorité (6,43 %) signalant des pertes en vies humaines, soulignant la menace sérieuse que représentent les inondations pour la sécurité des habitants. Sur le plan sanitaire, le paludisme se détache comme la pathologie la plus répandue, avec une fréquence impressionnante de 99,28 %, illustrant l'impact significatif des eaux stagnantes et de l'augmentation des populations de moustiques vecteurs de cette maladie. Les diarrhées, avec une fréquence de 70,5 %, et le choléra, à 43,88 %, reflètent les problèmes graves liés à la contamination de l'eau et à l'insuffisance des infrastructures sanitaires et d'assainissement exacerbés par les inondations.

2.3. Discussion

Les facteurs naturels des inondations sont les aléas climatiques, dont la caractéristique principale réside dans les crues souvent exceptionnelles. À ces aléas climatiques s'ajoutent les déterminants du milieu physique, tels que les caractéristiques géomorphologiques des bassins versants qui favorisent les inondations. En effet, les inondations dans la basse vallée de l'Ouémé sont en grande partie causées par les événements pluvieux en amont, là où le fleuve prend sa source dans la région septentrionale du Bénin (Totin et *al.*, 2016, p. 11). Ces pluies abondantes, combinées à la topographie de la vallée, provoquent des crues importantes. L'eau se déverse ensuite vers les régions en aval, notamment la Commune de Bonou, qui est particulièrement vulnérable à ces inondations en raison de sa position géographique dans la vallée. Aussi l'étude de D. Kodja et *al.*, (2013, p. 315) montre que le secteur d'étude comprend des plateaux à sols ferralitiques et des plaines inondables aux sols hydromorphes, dont le régime hydrologique, influencé par les variations climatiques, expose la région à des risques de sécheresse et d'inondation, compliquant l'aménagement hydro-agricole. D'autre part, les facteurs anthropiques, à savoir les comportements et les actions de l'homme sur son environnement. Notamment l'occupation des lits fluviaux pour des fins agricoles et l'exploitation du sable. De même, E. R. Tchokomakwa et *al.*, (2022, p. 16); ont démontré dans leurs étude que les inondations sont liées non seulement aux conditions naturelles (notamment la pluviométrie, la topographie, la géomorphologie et le type de sol), mais aussi aux conditions anthropiques (reposant essentiellement sur la structure et la composition de la population, le contexte socio-économique, la faible connaissance, l'ignorance du risque et l'installation anarchique des populations occupant les exutoires naturels de l'eau constitue l'un des facteurs amplificateurs des inondations. Comme l'ont souligné M.B.D Ahouangan et *al.* (2014, p. 4), les habitants, bien que conscients du danger, n'envisagent pas de se déplacer, affirmant être habitués aux inondations et considérant leur lieu de vie comme un héritage ancestral. Les résultats de notre étude confirment que les inondations constituent une menace majeure pour le développement durable de la Commune de Bonou, avec des impacts multidimensionnels qui exacerbent la vulnérabilité des populations. Les facteurs naturels et anthropique engendrent d'importante conséquence socioéconomique dans notre zone étude. Au nombre de ces effets, on peut notamment citer les baisses de rendements, les destructions des cultures, le bouleversement du calendrier agricole classique, la difficulté de remboursement des crédits agricoles. En dehors, des conséquences dévastatrices des inondations sur l'agriculture, les infrastructures et les habitations sont également détruites, soulignant la nécessité cruciale de mesures de réduction des risques pour protéger les moyens de subsistance et le cadre de vie des populations. Par ailleurs, l'étude de S. S. P. Houssou-goe

(2008, p. 14) confirme que la combinaison des tendances au réchauffement climatique et des phénomènes climatiques extrêmes, tels que les inondations, a des effets néfastes sur les activités agricoles.

Conclusion

Les inondations récurrentes dans la Commune de Bonou représentent un défi majeur pour le développement durable de cette région du Sud-Est du Bénin. Les résultats de cette étude mettent en évidence les impacts multidimensionnels des inondations, exacerbant la vulnérabilité des populations locales. Les facteurs clés identifiés sont les fortes pluies saisonnières et l'occupation de zones inondables. Les conséquences dévastatrices touchent l'agriculture, les infrastructures, les habitations et la santé publique, avec une prévalence alarmante de maladies hydriques. Pour une meilleure gestion des inondations, il faut mettre en œuvre des mesures structurelles : infrastructures de protection, planification urbaine tenant compte des zones inondables, renforcer les mesures non structurelles : renforcement des capacités communautaires, systèmes d'alerte précoce, préparation aux urgences, assurer une meilleure coordination entre autorités locales, organisations communautaires et acteurs humanitaires pour une réponse efficace. Il faut élaborer une carte des risques d'inondation, secteur par secteur pour permettre de mieux orienter et organiser les actions à entreprendre pour une gestion durable et efficace.

Bibliographie

Adjakpa Tchékpo Théodore, 2016 : *Gestion des risques hydro-pluviométriques dans la Vallée du Niger au Bénin : Cas des inondations des années 2010, 2012 et 2013 dans les communes de Malanville et de Karimama*, Mémoire de thèse en Géographie et en Gestion de l'environnement à l'Université d'Abomey-Calavi, 288 p.

Ahouangan Mahutin Bernice, Djaby Bakary, OZER Pierre, Hountondji Yvon-Carmen, Thitry Aline et de Longueville Florence, 2014 : Adaptation et résilience des populations rurales face aux catastrophes naturelles en Afrique subsaharienne. Cas des inondations de 2010 dans la commune de Zagnanado, Bénin. *In* : *Eau, milieux et aménagement. Une recherche au service des territoires*, A. BALLOUCHE et A.N. TAÏBI édit., Édit. Presses de l'Université d'Angers, pp 265-278.

Ahouansou Gillius Wilfried Alban, 2014 : *Contribution à l'étude des stratégies locales de lutte contre les inondations en aval du barrage de Nangbeto à Athiémé*, Mémoire de master en Géoscience de l'Environnement et Développement Durable, CIFRED/ UAC. 81 p.

Dossoumou Nadège, Masamaeya Gnazou , Villamor Grace , Agbossou Euloge Kossi, Thiam Sophie, Wagner Simon et Idrissou Mohamed (2023) : Comparaison de la perception des risques d'inondation par les ménages avec les données climatiques et hydrologiques historiques dans le bassin versant du Bas-Mono (Afrique de l'Ouest), au Bénin et au Togo. *PLOS Clim* 2. vol 4.

Houssou-goe Septime, Sonagnon Philippe, 2008 : *Agriculture et changement climatique au Bénin : risques climatiques, vulnérabilité et stratégies d'adaptation des populations rurales du département du Couffo*, Thèse de doctorat. Département d'Économie, Socio-Anthropologie et Communication pour le développement rural (DESAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Cotonou, 160 p.

Kodja Domiho Japhet, Vissin Expédit Wilfrid, Amoussou Ernest et Boko Michel, 2013 : Risques hydroclimatiques et problèmes d'aménagement agricoles dans la basse Vallée de l'Ouémé à Bonou au Bénin (Afrique l'ouest), *Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)*, 29 p.

Nicholson Sharon , Fink Andreas , Funk Chris, Klotter Douglas et Satheesh Athul , 2022 : Meteorological causes of the catastrophic rains of October/November 2019 in equatorial Africa. *Global and Planetary Change*, vol 208, 103687 p.

Scrarewell Helga-Jane, 2004 : Risque d'inondation et aménagement durable des territoires, Presse Universitaires du Septentrion, Lille, 239 p.

Tchokomakwa Roméo Ernest et Dzalla Ngangue Guy Charly, 2022 : Analyse des déterminants du risque d'inondation sur le Bassin versant du « Grand cours » à KEKEM (HAUT-NKAM, CAMEROUN). *Espace Géographique et Société Marocaine*, 2022, vol. 1, no 56. pp. 161-177.

Totin Vodounon Henry, Amoussou Ernest, Odoulami Léocadie, Boko Michel et Blivi, Blim Adoté, 2016 : Seuils pluviométriques des niveaux de risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé au Bénin (Afrique de l'Ouest). In *Actes de Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Besançon* pp. 369-374.

RISQUES HYDRO-CLIMATIQUES DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME A DANGBO AU BENIN : ENTRE EFFETS ET STRATEGIES D'ADAPTATION DES POPULATIONS

Asai Akinni Gervais ATCHADE[1], Pascal GBENOU[2]

[1]*Laboratoire Pierre Pagney: Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (Labolaceede@gmail.com)*

[2]*Université National d'Agriculture (UNA), Bénin*

Résume : *Les contraintes hydro climatiques constituent un frein pour le développement de façon générale. La présente recherche vise à caractériser les effets des contraintes hydro climatiques dans la commune de Dangbo au Bénin. Les données climatologiques (pluie et température sur la période de 1981 à 2020) ainsi que celles obtenues lors des travaux de terrain soumis aux méthodes des statistiques descriptives ont permis d'apprécier les effets des évènements extrêmes sur les activités et les populations. Les résultats montrent que l'inondation, les poches de sécheresse, les attaques d'insectes nuisibles, les fins précoces des saisons de pluie sont les principaux risques qui accroissent la vulnérabilité des populations dont l'activité de base demeure l'agriculture. Face à ces contraintes, les producteurs développent bon nombre de stratégies plus ou moins efficaces.*

Mot clés : *Commune de Dangbo, modèle IQCEG, risques hydro-climatiques, mesures d'adaptation*

Abstract: Hydro-climatic risks in the lower oueme valley in Dangbo, Benin : between impacts and population adaptation strategies. *Hydro-climatic constraints are a hindrance to development in general. This research aims to characterize the effects of hydro-climatic constraints in the commune of Dangbo, Benin. Climatological data (rainfall and temperature from 1981 to 2020), along with fieldwork data analyzed using descriptive statistical methods, were used to assess the effects of extreme events on activities and local populations. The results show that flooding, drought pockets, pest infestations, and the early end of rainy seasons are the main risks that increase the vulnerability of populations whose primary activity remains agriculture. In response to these constraints, farmers have developed a number of more or less effective strategies.*

Keywords: *Commune of Dangbo, IQCEG model, hydro-climatic risks, adaptation measures*

Introduction

Au Bénin, le climat est de plus en plus sujet à de fortes variabilités ou à des changements selon les échelles de temps dont les conséquences restent néfastes pour le développement durable (Chédé, 2012). L'agriculture étant essentiellement pluviale, la modification du régime des précipitations entraîne des perturbations agricoles brutales qui ont des répercussions profondes sur la vie des populations en général et les agriculteurs en particulier (Djohy *et al*., 2015). Cette situation induit une augmentation de la fréquence des catastrophes hydro climatiques avec de lourdes conséquences sur les activités socioéconomiques et sur les populations concernées (Saley, 2005).

1. Méthodes

La Commune de Dangbo. Elle est située dans le département de l'Ouémé et est comprise entre 6° 31' 50'' et 6° 36' 53'' de latitude nord et 2° 25' 08'' et 2° 34' 39'' de longitude est. Les données usitées sont à la fois quantitatives et qualitatives. Il s'agit notamment des statistiques climatologiques et hydrologiques qui proviennent de la base de données de l'Agence météo-Bénin et de la Direction Générale de l'eau. Des statistiques agricoles tirées des compendiums du CeRPA-Ouémé portant sur les superficies emblavées, les productions et les rendements agricoles sur la campagne agricole allant de 1995 à 2022. Les risques hydro-climatiques sont caractérisés à travers l'estimation des probabilités qui s'est appuyée sur des critères analogues quantifiés suivant un ordre croissant selon les enquêtes socio-anthropologiques effectuées sur le terrain. Le tableau suivant présente l'analyse de l'estimation de la probabilité des risques.

Tableau I : Estimation de la probabilité

Valeurs	Probabilité
$0 = p<10^{-1}$	Peu probable
$10^{-1} = p <3.10^{-1}$	Probable
$3.10^{-1} = p < 5x10^{-1}$	Assez fréquent
$5.10^{-1}= p<7.10^{-1}$	Très probable
$7.10^{-1} = p <9.10^{-1}$	Hautement probable

Source des données: *Adapté de la norme ISO 13849-1 : 2008*

Il est retenu cinq niveaux de probabilité de survenance des risques agricoles. Chaque niveau de probabilité correspond à une classe qui varie entre 0 et 0,9. L'analyse fréquentielle a perme d'étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné afin d'en définir les probabilités d'apparition future (Institute of Hydrology, 1990 ; OMM, 1983 ; St-Hilaire, 2005 ; Totin, 2010). Pour estimer les pluies maximales et débits de pointe correspondants à une certaine durée de retour, c'est-à-dire à une certaine probabilité d'apparition donnée, la série des hauteurs maximales de pluie et des débits maximaux a été constituée. L'hypothèse d'indépendance a été validée à l'aide du test de Wald-Wolfowitz. Les tests d'homogénéité utilisés sont respectivement ceux de Kendal (Kendal, 1975) cité par St-Hilaire (2005). Le logiciel HYFRAN (2003) a été utiles pour sortir les résultats d'analyse fréquentielle.

2. Résultats

2.1. Variabilité interannuelle des hauteurs de pluie.

La détermination de la variabilité interannuelle des hauteurs de pluie a permis d'identifier les années de crue et d'inondation et d'apprécier les tendances en cours. La figure 2 présente l'évolution des hauteurs de pluies dans la basse vallée de l'Ouémé.

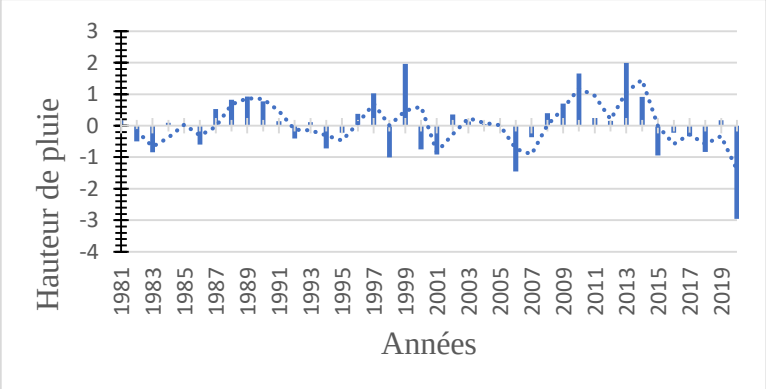


Figure 2 : Anomalies centrées réduites pluviométriques de Dangbo
Source : *ASECNA, 2023*

L'analyse des résultats de l'indice pluviométrique standardisé dans la basse vallée de l'Ouémé montre plusieurs phases dans l'évolution de la pluviométrie sur la station. La première phase est caractérisée par des déficits qui vont de 1983 à 1986 et de 2015 à 2020 marquées par une très forte instabilité dans l'évolution de la pluviométrie et concerne la période 1990 à 2007. La deuxième phase est marquée par la prédominance des excédents sur la station, et concerne la période 1987 à 1991 et de 2008 à 2014. Ce qui engendre des cas d'inondations comme celle de 2010. Ces variations de la pluviométrie annuelle ont un impact négatif sur l'agriculture, l'élevage et les ressources naturelles (Karimou Barké *et al*., 2015) qui sont des secteurs sur lesquels repose l'essentiel des économies nationales ouest-africaines.

2.2. Risques hydro-climatiques et leurs manifestations dans la commune de Dangbo

➢ **L'inondation:**

Elle se manifeste par les pluies nocturnes et abondantes, par la montée et l'avancé des eaux du fleuve Ouémé envahissant les champs, causant d'énormes pertes des cultures. Elle est causée par la forte crue soit 55 % et les pluies de juin qui sont abondantes soit 20 %, la forte occupation des plaines d'inondation (15 %) et 10 % du non-respect des normes ancestrales. La photo 1 présente un champ de maïs inondé à Mitro, un village de l'arrondissement de Zounguè.



Photo 1 : Inondation d'un champ de maïs à Mitro

Prise de vue *: Sedawan, août 2023*

Analyse fréquentielle des hauteurs de pluie maximales susceptibles d'occasionner les risques d'inondations dans la commune de Dangbo

Pour l'aléa pluviométrique, les précipitations maximales représentent le premier facteur déclenchant des mécanismes de crue et d'inondation. Après l'application des lois d'ajustement sur les hauteurs de pluies maximales, seule la loi de Gumbel s'adapte le mieux aux pluies maximales journalières est présenté par la figure 3.

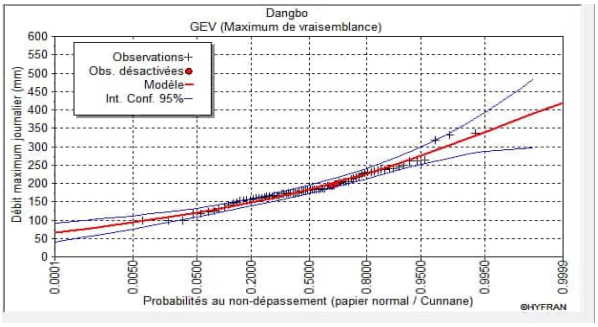


Figure 3 : Diagramme de GEV appliqué aux hauteurs pluviométriques journalières

Il ressort de l'analyse de la figure 3 que les pluies extrêmes ont tendance à mieux s'ajuster à la loi de GEV avec un intervalle de confiance estimé à 95 %.

A partir de l'équation de la droite de Gumbel, les quantiles de pluies maximales ont été calculés pour différentes périodes de retour et leurs intervalles de confiance (Tableau I).

Tableau I: Quantiles de pluies et les périodes de retour dans la commune de Dangbo

Périodes de retour	**2 ans**	**3 ans**	**5 ans**	**10 ans**	**20 ans**	**50 ans**	**100 ans**
Dangbo	18,4 17,3-19,5	20,4 19,2-27,7	22,6 21,2-24,1	25,2 23,4-27	27,5 25,2-29,9	30,3 26,9-33,6	32,2 27,9-36,4

On retient de l'analyse du tableau I que les durées de retour au niveau des hauteurs maximales de pluie varient de 2 à 100 ans selon la quantité des hauteurs de pluie maximales journalières. Il ressort que les inondations pluviales les plus fréquentes ayant une période de retour de 2 ans et 3 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière comprise entre 17,3

mm et 27,7 mm. Celles ayant une période de retour de 5 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière comprise entre 26,6 mm et 24,1 mm. Par ailleurs, les inondations pluviales pouvant survenir chaque 100 ans ont une hauteur de pluie maximale journalière comprise entre 32,2 mm et 36,4.

- **Les poches de sécheresse**

Elle se traduit par une absence prolongée de pluie sur une longue période. Elle se manifeste par le jaunissement des plantes, le tarissement des cours d'eau, les excès de chaleur, une absence de pluie, prolongement de la saison sèche dans la saison pluvieuse. Elle est causée par le réchauffement climatique (55 %), le déboisement (25 %) et le non-respect des divinités; la colère des dieux (20 %). La photo 2 montre le jaunissement des plantes de niébé dans l'arrondissement de Zounguè.



Photo 2 : Jaunissement des plantes à Zounguè Centre

Prise de vue : Sedawan, juillet 2020

- **Les vents violents:**

Ils sont dus à la déforestation et se soulèvent à travers le fleuve de l'Ouémé et sont accompagnés de pluie ont d'énormes conséquences sur l'habitation des populations paysannes surtout celles qui ont de faibles revenus financiers sont très vulnérables. La photo 3 présente le démolissage d'une habitation des suites d'une pluie violente.



Photo 3 : Démolition d'une chambre par un vent et une pluie violente à Ayimlonfidé

Prise de vues : Amoussou, juillet 2020

- **Le démarrage tardif et la fin précoce des pluies:**

Elles sont caractérisées par une fausse alerte du climat et la fin brutale des pluies dans la basse vallée de l'Ouémé. Ces phénomènes sont perçus par 75 % des producteurs enquêtés affirment que ces trente dernières années ont été marquées par une mauvaise répartition des pluies et une réduction considérable du nombre de jours de pluie. On assiste donc au bouleversement du calendrier empirique agricole et il en résulte une baisse considérable des rendements agricoles. Selon 80 % les saisons sont devenues très instables et ils déclarent ne plus cerner les dates de semi et que tous les semis sont à risque. A cet effet, les producteurs (60 %) font des semis aléatoires et anticipés dans l'intention qu'il y ait pluie dans une période donnée.

2.*3. Impacts des inondations sur la vie des producteurs de la basse vallée de l'Ouémé*

De la synthèse des investigations de terrain, il résulte que les phénomènes dont l'arrivée des hautes eaux et des crues annuelles a des conséquences sur le quotidien de la population agricole. Pour quatre-vingt-dix pour cent (90 %) des personnes enquêtées, les pluies excessives suivies parfois du débordement du fleuve Ouémé entrainent des crues qui envahissent les champs et les détruisent.

2.4. Effets socio-économiques des inondations sur la production agricole à Dangbo

Les inondations affectent d'abord très sérieusement les catégories sociales les plus pauvres, sans moyens d'adaptation, dans les zones topographiquement basses déjà identifiées comme inondables. Les personnes les plus vulnérables sont les enfants, les femmes enceintes et les personnes âgées.

- **Stratégies de gestion des risques agricoles dans la commune de dangbo**

Les producteurs eux-mêmes développent des stratégies d'adaptation pour réduire leur vulnérabilité aux effets néfastes des risques hydro climatiques. Ces stratégies d'adaptation sont celles endogènes et modernes.

- **Stratégies endogènes de gestion des risques hydro-climatiques**

Comme stratégies endogènes dans la basse vallée de l'ouémé nous avons :

- **Réaménagement du calendrier agricole**

Le démarrage précoce ou tardif des pluies, la réduction du nombre de jours pluvieux et l'allongement de la durée des saisons sèches ont rendu difficile l'utilisation du calendrier agricole traditionnel au profit d'un autre. Selon 75% des producteurs enquêtés, la préparation des sols qui commençait généralement à partir du mois de janvier pour la première saison agricole commence à partir du mois de février à cause des contraintes climatiques perçues. Les dates des semis ont été donc modifiées.

- **Adoption de nouvelles variétés de cultures**

Les extrêmes climatiques rendent imprévisibles et parfois aléatoires le démarrage des activités champêtres et la date du semis. Depuis que les saisons sont devenues incertaines, pour cent pour cent (100 %) des personnes enquêtées, de nouvelles variétés de cultures ont été adoptées.

- **Récolte anticipée**

Au risque de voir la crue détruire les cultures dans les champs et pour éviter que les eaux submergent toutes les cultures, la population paysanne procède à la récolte anticipée, c'est-à-dire moissonner les cultures surtout le maïs qui sont à quelques semaines de maturité pour pouvoir gagner quelque chose à défaut de tout perdre. Ces cultures récoltées sont destinées à la consommation.

- **Mise en place des drains et des digues**

L'excès d'eau dans les champs et zones habitables constitue un dommage aux cultures et à l'organisation de la vie sociale. Quand la crue est très importante ou face aux précipitations extrêmes, les crieurs publics sont sollicités pour inviter la population surtout les hommes à une séance de travail de groupe pour établir des drains reconnus en langue locale sous le vocable de (abɔ). La photo 4 montre un système de drain (abɔ) à Mondotopka.



Photo 4 : Stratégies endogènes développées face à l'inondation

Prise de vues : Amoussou, juillet 2020

Cette stratégie permet d'évacuer le surplus d'eau pluviale et fluviale en cas de crue vers les bas-fonds et les champs de palmeraie.

Conclusion

La présente recherche contribue à une meilleure connaissance des types de risques hydroclimatiques et leurs impacts socio-économiques pour une gestion durable de ceux-ci dans la basse vallée de l'Ouémé. Il faut retenir que, les populations de la base vallée de l'Ouémé subissent les conséquences des risques lors de leur survenance. L'étude de la variabilité saisonnière, des hauteurs pluviométriques maximales sur la période 1981 à 2020 montre que la basse vallée de l'Ouémé est sous la menace des catastrophes hydro-climatiques. Par ailleurs l'agriculture étant l'activité principale dans la base vallée de l'Ouémé à l'instar de la pêche ainsi que de l'élevage, est relativement la plus impactée par les risques hydro-climatiques récurrents dans le milieu avec un taux de 98 % des inondations et 70 % des poches de sécheresse. Pour réduire les effets néfastes de ces risques hydro-climatiques, les producteurs de la basse vallée de l'Ouémé ont développé des stratégies pour y faire face.

Bibliographiques

Akindélé A., 2014: Savoirs ethnoclimatologiques en pays wemɛ et hɔli : fondements et implications économiques et socioculturelles. Thèse de doctorat en Géographie, n° d'enregistrement : 198-14/UAC/FLASH/EDP, 43 p.

Amoussou A. M. R. 2021: Perceptions paysannes des extrêmes climatiques dans la commune de dangbo, Mémoire de licence en géographie/ UAC/CUA, 49p.

Barke K., Karimou A., Sarr B., Tychon B., 2015: Analyse des phénomènes climatiques extrêmes dans le Sud-Est du Niger, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, liège 2015, pp. 537-542

Chéde F., 2012: Vulnérabilité et stratégies d'adaptation au changement climatique des paysans du Département des Collines au Bénin: cas de la Commune de Savè. Mémoire de Master II, Centre Régional AGRYMETH, 86 p.

Codjo T., 2013: Aménagement hydro-agricole pour la réduction de la vulnérabilité et l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans la Commune d'Adjohoun. Mémoire de Master II/FLASH/DGAT/MIRD/UAC, 96 p.

Kodja D. J., 2013 : Étude des risques hydroclimatiques dans la vallée de l'Ouémé à bonou. Mémoire de DEA, DGAT/FLASH/UAC, 108p.

MEYLAN Paul et MUSY André, 1999, Hydrologie générale : Analyse fréquentielle. Annale revue hydrologie, 19p.

Saley M., 2005: Cartographie des zones à risques d'inondation dans la zone semi-montagneuse à l'ouest de la Cote d'Ivoire: Apports des MNA et de l'imagerie satellitaire, Télédétection, Vol 5, pp 53 – 67.

Vissin E. W., 2016: Variabilité climatique et savoirs endogènes en pays Torri dans la Commune de Akpro-Misserete, European Scientific Journal October 2016 edition vol.12, No.29 ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, pp. 351 – 369.

EXTREMES PLUVIO-THERMIQUES EN ZONES URBAINES : ÉTUDE DE CAS DE GRAND-NOKOUE, BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)

Vidjinnagni Vinasse Ametooyona AZAGOUN [1, 2 *], Kossi KOMI [1, 2], Expédit Wilfrid VISSIN [3] and Komi Selom KLASSOU [2]

[1] *Centre d'excellence régional sur les villes durables en Afrique (CERViDA-DOUNEDON/UL), Université de Lomé, Lomé 01 BP 1515, Togo ; vidjinnagni.azagoun@cervida-togo.org ou azagounv@gmail.com*

[2] *Laboratoire de recherche sur les dynamiques des milieux et des sociétés (LARDYMES), Département de géographie, Université de Lomé, Lomé 01 BP 1515 , Togo ; kossi.komi@cervida-togo.org et selom.klassou@cervida-togo.org*

[3] *Laboratoire Pierre Pagney : Climat, eau, écosystèmes et développement (LACEEDE/UAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi, Cotonou 03 BP 1122, Bénin ; expedit.vissin@uac.bj*

Résumé *: Les extrêmes pluvio-thermiques constituent un défi majeur pour la durabilité urbaine. Cette étude vise à analyser leur évolution dans le Grand-Nokoué afin de renforcer la résilience régionale. Les événements extrêmes ont été identifiés à partir du 99e percentile, puis analysés selon leur fréquence annuelle et mensuelle. Une distribution GEV a été ajustée aux maximas annuels, avec un intervalle de confiance de 95 %, en tenant compte de la non-stationnarité. Les paramètres ont été estimés par la méthode des moments L. Le modèle est fiable pour des périodes de retour allant jusqu'à 50 ans. Des extrêmes sur trois jours atteignant 68,21 mm (Pcp), 79,38 °C (Tmin) et 97,29 °C (Tmax) sont attendus tous les deux ans. Ces résultats offrent des bases solides pour la surveillance des risques pluvio-thermiques et l'aménagement urbain. Les résultats de cette étude peuvent ainsi servir d'outil de surveillance des risques pluvio-thermiques et d'aide à la décision pour la planification urbaine et l'adaptation aux changements climatiques.*

Mots-Clés *: climat urbain ; période de retour ; vagues de chaleur ; Grand-Nokoué*

Abstract : *Pluvio-thermal extremes are a major challenge for urban sustainability. This study aims to assess their evolution in the Grand Nokoué region to support resilience planning. Extreme events were identified using the 99th percentile threshold and analyzed by annual and monthly frequency. A Generalized Extreme Value (GEV) distribution was fitted to annual maxima with a 95% confidence interval, accounting for non-stationarity. Parameters were estimated using the L-moments method, and the model is considered reliable for return periods up to 50 years. Three-day extremes reaching 68.21 mm (precipitation), 79.38 °C (Tmin), and 97.29 °C (Tmax) are expected every two years. These results provide a strong foundation for monitoring pluvio-thermal risks and informing urban planning decisions.*

Keywords*: urban climate; return period -extreme events; night and day heat waves; flooding; Grand-Nokoué.*

Introduction

Bien que les variations climatiques passées soient documentées (Pierre Nehlig, 2006), le réchauffement actuel, plus rapide et disruptif, menace directement les écosystèmes urbains (Malhi et al., 2020). L'amplification des extrêmes météorologiques (vagues de chaleur, inondations) (Lin et al., 2020; Pizzorni et al., 2024), responsables de plus de 50 % des pertes économiques mondiales (Wallemacq et al., 2018), compromet les objectifs de développement durable (Omisore, 2018). Les villes, déjà épicentres de ces crises (Guerreiro et al., 2018; Huang Shuzhe et al., 2023), subiront des impacts irréversibles, même sous un réchauffement contenu à 1,5-2°C (C40Cities, 2021). Le GIEC (Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), 2023) souligne une aggravation des risques pour les infrastructures et les moyens de subsistance, alors que la population urbaine, actuellement de 4,2 milliards (56 % de l'humanité), devrait atteindre 9,8 milliards d'ici 2050 (Nations Unies. Commission Economique pour l'Afrique, 2023).

En Afrique, l'urbanisation accélérée (35 % en 2000 → 43,5 % en 2020) (Nations Unies. Commission Economique pour l'Afrique, 2022) exacerbe ces défis. En Afrique subsaharienne, 654 inondations (1980-2010) ont affecté 38 millions de personnes et causé

13000 décès (Tiepolo, 2014). Au Bénin, les dommages liés aux inondations ont atteint 91,10 millions USD en 2019 (Agence Nationale de Protection (ANPC), 2020), impactant les infrastructures, l'économie locale et la santé publique (C40Cities, 2021; Seifollahi-Aghmiuni et al., 2022). Parallèlement, les îlots de chaleur urbains (Peng et al., 2016), générés par les activités humaines, intensifient les vagues de chaleur, dégradant les systèmes de drainage et la qualité de vie (Adegebo, 2022; Seifollahi-Aghmiuni et al., 2022). Ces risques, appelés à s'amplifier avec l'urbanisation (Dharmarathne et al., 2024), menacent un continent où 50 % de l'économie mondiale est désormais portée par les villes (Nations Unies. Commission Economique pour l'Afrique, 2022).

Cette étude analyse l'évolution des extrêmes pluviométriques (pcp) et thermiques (Tmax, Tmin) dans le Grand-Nokoué (Bénin), afin de documenter les tendances climatiques locales et améliorer la résilience des villes africaines.

1- Matériel et Méthode

1.1- Zone d'étude

Située entre 6°18' et 6°30' de latitude nord et 2°02' et 2°40' de longitude Est, le Grand-Nokoué est limité au Nord par des communes de l'intérieur du pays, au Sud par l'océan atlantique à l'Est par le Nigéria et à l'Ouest par la commune de Grand-Popo (Fig.1). Le Grand-Nokoué dispose d'une station synoptique (6° 21' N et 2° 23'E) qui permet l'enregistrement et la fourniture des différents paramètres climatiques de la région. La figure1 montre la situation géographique du Grand-Nokoué.

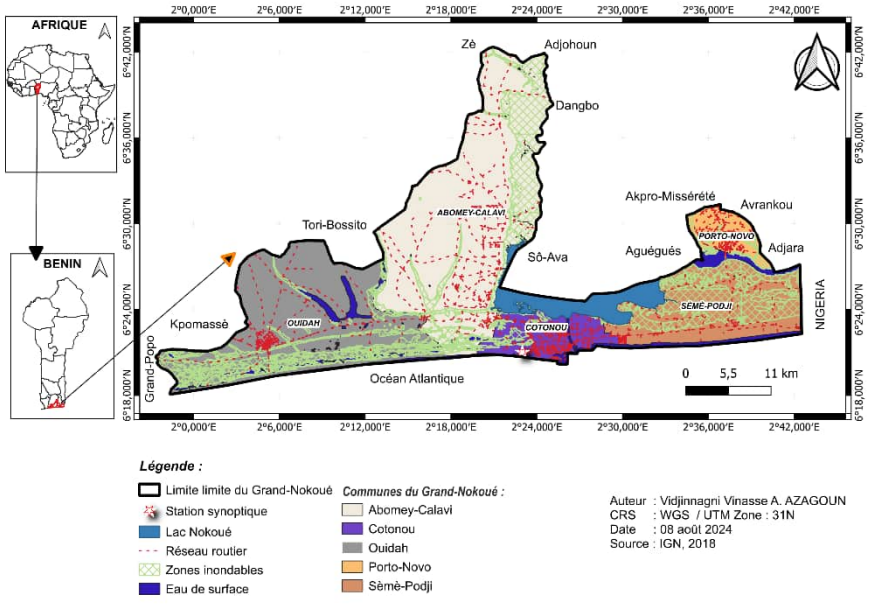


Figure 1 : Situation géographique du Grand-Nokoué

La population du Grand-Nokoué est passée de 604 106 habitants en 1979 à 1 388 190 en 2002, puis à 1 984 206 en 2013. Elle est estimée à 3 241 482 habitants en 2030, soit environ 25 % de la population nationale. Cette forte croissance démographique entraîne une concentration accrue de biens et de services, qui sont particulièrement vulnérables aux événements climatiques extrêmes. D'où la nécessité de mieux comprendre la dynamique pluvio-thermique à l'échelle de ce territoire.

Parallèlement, la superficie des zones bâties connaît une progression continue. Elle est passée de 454,65 km² en 2014 à 496,93 km² en 2018, pour atteindre 561,79 km² en 2020, traduisant une urbanisation rapide et soutenue.

1.2- Collecte de données

Dans le cadre de cette étude, les données utilisées concernent principalement les précipitations ainsi que les températures maximales et minimales. Ces données quotidiennes, couvrant la période 1991-2020, proviennent de la station synoptique de Cotonou (6°21' N, 2°23' E) et sont fournies par l'Agence Nationale de la M étéorologie du Bénin (Météo-Bénin). Cette période correspond à la normale climatologique actuelle définie par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) et sert de référence pour analyser l'évolution récente des paramètres climatiques.

1.3.- Traitement et analyse des données

Cette étude a traité les données et réalisé les tests statistiques avec le logiciel R (version 4.4.0) et ses packages dédiés. Un contrôle de qualité préalable a été effectué via Rclimdex, un algorithme recommandé par l'ETCCDMI pour détecter les erreurs dans les données quotidiennes et les indicateurs de changements climatiques. Aucune donnée manquante ou aberrante n'a été identifiée.

Les tendances temporelles des précipitations (pcp), températures minimales (Tmin) et maximales (Tmax) ont été analysées via le test de Mann-Kendall, puis quantifiées en amplitude avec le test de la pente de Sen.

Les événements climatiques extrêmes ont été définis comme les valeurs dépassant le 99e percentile des cumuls sur 3 jours consécutifs (pluie ou température). Pour ces extrêmes, une distribution GEV (valeurs extrêmes généralisées) a été ajustée aux maximums annuels, avec un intervalle de confiance de 95%. Les paramètres de la GEV ont été estimés par la méthode des moments L, intégrant la non-stationnarité. Toutes les analyses, y compris les cumuls tri journaliers, ont été réalisées sous R avec des packages adaptés.

2- Résultats

2.1- Analyse de la tendance de la variabilité interannuelle

L'évolution interannuelle des précipitations et des températures minimales et maximales de 1991 à 2020 est représentée par la Fig. 2. De l'analyse de cette figure, on observe une variation de tous les paramètres climatiques d'intérêts. A partir des résultats statistiques des tests de tendance et de niveau de pente enregistrés dans le tableau 1, on observe des valeurs de tau positive ; 0.25 et 0.14 respectivement pour les précipitations et les températures minimales annuelles avec des valeurs p inférieures au seuil de 5% (0.04 et 0.001). Ces valeurs impliquent que la hausse des tendances observées dans les précipitations et les températures minimales sont significatives.

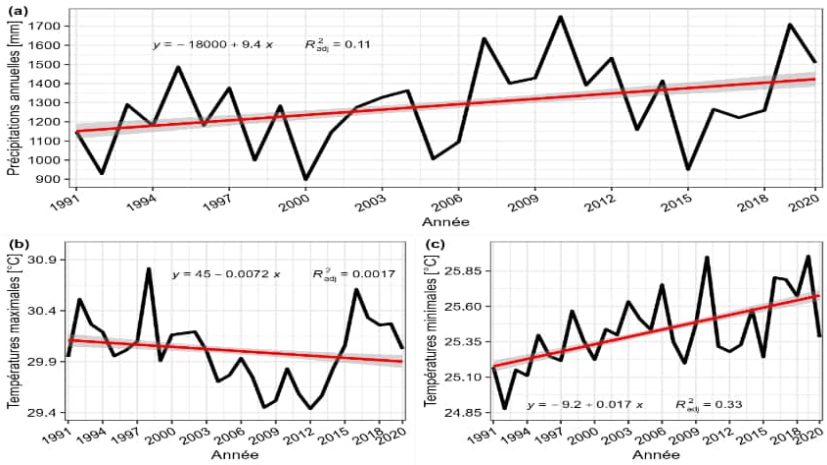


Figure 2: Évolution interannuelle des précipitations (a) et températures minimales (b) et maximales (c) de 1991 à 2020 à la station de Cotonou

2.2- Analyse de la fréquence des extrêmes pluvio-thermiques

À partir du seuil défini (99e percentile), 110 événements extrêmes ont été enregistrés au cours des trente années d'étude (1991-2020), tant pour la série des cumuls de précipitations sur trois jours que pour celle des températures maximales (Tmax). En ce qui concerne les températures minimales (Tmin), le total s'élève à 108 événements extrêmes.

La Figure 3.a) révèle que près de la moitié des années (14 sur 30) ont connu un nombre d'événements extrêmes supérieur à celui attendu. À elles seules, les années 2019 et 2020 concentrent plus de 27 % des extrêmes observés, soit plus d'un quart du total. Contrairement à la tendance observée pour les Tmax, les Tmin présentent une concentration accrue d'événements extrêmes au cours de la dernière décennie.

Par ailleurs, la Figure 3.d) indique que les extrêmes de précipitations s'étalent sur sept mois consécutifs, à partir d'avril. Les mois de juin (27,27 %), juillet (27,27 %) et septembre (20 %) enregistrent les fréquences les plus élevées. La répartition mensuelle des événements extrêmes de précipitation est fortement déséquilibrée, une différence statistiquement très significative (p-value < 0,001). La Figure 3 illustre la fréquence annuelle (a, b, c) et mensuelle (d) des extrêmes pluvio-thermiques.

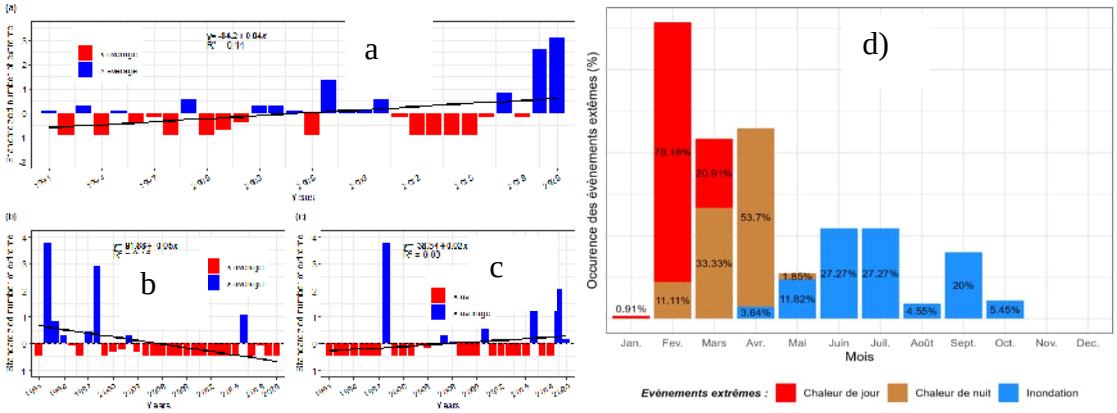


Figure 3 : Fréquence annuelle (a, b, c) et mensuelle (d) des extrêmes pluvio-thermiques.

2.3- Analyse des paramètres GEV des variables pluvio-thermiques : Modèles stationnaires et non stationnaires basés sur la méthode des L-moments

Le Tableau 1 présente les paramètres estimés (μ : position, σ : échelle, ξ : forme) des modèles stationnaires et non stationnaires de la distribution GEV (Generalized Extreme Value) ajustés aux précipitations maximales (Pcp), aux températures maximales (Tmax) et aux températures minimales (Tmin).

Dans le cas du modèle stationnaire, la moyenne des précipitations maximales est fixée à 61,45 mm. En revanche, le modèle non stationnaire révèle une tendance croissante de 0,64 mm par an, avec une valeur initiale estimée à 64,26 mm en 1991, année de référence. L'écart-type (σ = 18,19 mm) traduit une forte variabilité autour de la moyenne. Par ailleurs, le paramètre de forme (ξ = -0,08) suggère une queue de distribution courte, indiquant que les événements de précipitations exceptionnellement intenses restent rares, bien qu'un peu plus fréquents qu'attendu dans une distribution parfaitement symétrique.

Concernant les températures maximales, le modèle stationnaire indique une valeur moyenne constante de 96,22 °C. Dans le modèle non stationnaire, cette moyenne augmente de 0,15 °C par an, avec une température initiale estimée à 99,69 °C en 1991. L'écart-type (σ = 3,07 °C) est relativement faible, indiquant une faible dispersion autour de la moyenne. Le paramètre de forme (ξ = 0,24) révèle, quant à lui, une distribution avec une queue lourde, traduisant une probabilité plus élevée d'événements extrêmes, tels que les vagues de chaleur.

Le Tableau 1 résume ainsi les paramètres de la distribution GEV appliquée aux séries de précipitations et de températures, en distinguant les modèles stationnaires et non stationnaires.

Tableau 1 : Paramètres de la distribution GEV pour les modèles stationnaires et non-stationnaires basés sur la méthode des L-moments.

Variable	Stationnaire (μ)	Non-stationnaire (μ(t))	Variabilité (σ)	Forme (ξ)
pcp	61.45 mm	64.26+0.64·t	18.19mm	-0.08
Tmax	96.22°C	99.69+0.15·t	3.07°C	0.24
Tmin	79.08°C	78.10+0.04·t	0.80°C	−0.05

Conclusion

Le modèle non stationnaire révèle une tendance croissante de 0,64 mm par an pour les extrêmes de précipitations cumulées (Pcp), ainsi qu'une hausse de 0,15 °C par an pour les températures maximales extrêmes (Tmax). Il indique également une augmentation des vagues de chaleur nocturnes, traduite par une élévation des températures minimales extrêmes (Tmin). À l'horizon de trois jours consécutifs, on peut s'attendre à une fréquence accrue des extrêmes de Tmin et Tmax, avec des valeurs respectives atteignant 79,38 °C et 97,29 °C.

Dans une perspective de développement durable, il est crucial d'intégrer ces extrêmes climatiques dans la planification et l'aménagement urbains, afin de renforcer la résilience des infrastructures et de protéger les populations les plus vulnérables.

Bibliographie

Adegebo B.O., 2022 : Urban thermal perception and self-reported health effects in Ibadan, south west Nigeria. Int J Biometeorol, **66**, 331–343.

Agence Nationale de Protection (ANPC), 2020 : Inondations de 2019 au Bénin rapport d'évaluation des besoins post catastrophe. 88 pages.

C40Cities, 2021 : Intégrer l'adaptation au changement climatique : Un guide pour les urbanistes et les professionnels de l'adaptation. Global Platform for Sustainable Cities, 66 pages.

Dharmarathne G., Waduge A.O., Bogahawaththa M., Rathnayake U. et Meddage D.P.P., 2024 : Adapting cities to the surge: A comprehensive review of climate-induced urban flooding. Results in Engineering, **22**, 102123.

Guerreiro S.B., Dawson R.J., Kilsby C., Lewis E., Ford A., 2018 : Future heat-waves, droughts and floods in 571 European cities. Environ. Res. Lett., **13**, 034009.

Huang Shuzhe, Gan Y., Zhang X., Chen N., Wang C., Gu X., Ma J. et Niyogi D., 2023 : Urbanization Amplified Asymmetrical Changes of Rainfall and Exacerbated Drought : Analysis Over Five Urban Agglomerations in the Yangtze River Basin, China. Earth's Future, **11**, e2022EF003117.

Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), 2023 : Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1st ed. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

Lin L., Gao T., Luo M., Ge E., Yang Y., Liu Z., Zhao Y., Ning G., 2020 : Contribution of urbanization to the changes in extreme climate events in urban agglomerations across China. Science of The Total Environment, **744**, 140264.

Malhi Y., Franklin J., Seddon N., Solan M., Turner M.G., Field C.B., Knowlton N., 2020 : Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. Phil. Trans. R. Soc., **B 375**, 20190104.

Nations Unies. Commission Economique pour l'Afrique, 2023 : Urbanisation et développement en Afrique : le rôle de la Commission économique pour l'Afrique. Addis Abeba, 20 pages.

Omisore A.G., 2018 : Attaining Sustainable Development Goals in sub-Saharan Africa; The need to address environmental challenges. Environmental Development, **25**, 138–145.

Patz J.A., Campbell-Lendrum D., Holloway T. et Foley J.A., 2005 : Impact of regional climate change on human health. Nature, **438**, 310–317.

Peng J., Xie P., Liu Y. et Ma J., 2016 : Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. Remote Sensing of Environment, **173**, 145–155.

Pierre Nehlig, 2006 : Que nous disent les archives géologiques du CO2 et du climat ?. Geoscience, 7.

Pizzorni M., Innocenti A. et Tollin N., 2024 : Droughts and floods in a changing climate and implications for multi-hazard urban planning: A review. City and Environment Interactions, **24**, 100169.

Seifollahi-Aghmiuni S., Kalantari Z., Egidi G., Gaburova L. et Salvati L., 2022 : Urbanisation-driven land degradation and socioeconomic challenges in peri-urban areas: Insights from Southern Europe. Ambio, **51**, 1446–1458.

Tiepolo M., 2014 : Flood Risk Reduction and Climate Change in Large Cities South of the Sahara, in: Macchi, S., Tiepolo, M. (Eds.), Climate Change Vulnerability in Southern African Cities, Springer Climate. Springer International Publishing, Cham, 19–36.

Wallemacq P., UNISDR et CRED, 2018 : Economic Losses, Poverty and Disasters 1998-2017. CRED, 255.

IMPACTS DES INONDATIONS SUR LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL DANS LE SOUS BASSIN VERSANT DE LA TEROU

Déhalé Donatien AZIAN[1], Emmanuel SOVI[1], Sabine DJIMOUKO[1], Moussa GIBIGAYE[1]

Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), Université d'Abomey-Calavi

Auteur correspondan : Déhalé Donatien AZIAN, Maître-Assistant, aziandonatien@gmail.com

Résumé : *Le problème de dégradation du couvert végétale se pose avec acuité dans le sous bassin versant de la Térou. La présente recherche vise à cartographier les risques d'inondation sur le couvert végétal dans le sous bassin versant de la Térou. L'interprétation des images satéllitaires LANDSAT et ETM+ par le SIG ont permis de cartographier la dynamique d'occupation du Sol ainsi que leurs impacts dans le sous bassin versant de la Térou. Les résultats obtenus révèlent 2,15 %, 18,72 % et 79,13 % respectivement pour le risque très élevé, élevé et faible sur l'ensemble du sous bassin versant de la Térou. Cette dernière carte met en exergue les zones les plus exposées à la dégradation du couvert végétal, ce qui facilitera la prise de décision en matière de mesure de conservation de sols et d'installation humaine.*

Mots-clés : Sous bassin versant de la Térou, SIG, degradation, impacts des inondations,

Abstract: *The problem of water degradation is acute in the Térou sub-basin. Agricultural practices, overgrazing and overexploitation of land aggravate the consequences of the phenomenon. This research aims to map the risks of erosion in the Térou sub-watershed. The interpretation of LANDSAT and ETM + satellite images by the GIS made it possible to map the dynamics of surface conditions as well as their impacts on the risks of erosion in the Térou sub-watershed. The results obtained reveal 2.15%, 18.72% and 79.13% respectively for the very high, high and low risk over the entire Térou sub-watershed. This last map highlights the areas most exposed to water erosion, which will facilitate decision-making in terms of soil conservation measures and human settlement.*

Keywords*: Térou sub-basin, GIS, water degradation*

Introduction

La mise à nu des sols entraîne une augmentation de l'albédo dont l'élévation perturbe les processus thermo-convectifs à l'origine des pluies. Cette modification du paysage peut ainsi avoir une incidence sur les régimes de flux de convections et les régimes pluviométriques à l'échelle locale (Dewispelaere, 1990). En climat tropical, l'érosion pose toujours de problèmes dès lors qu'on intensifie l'exploitation des terres. Pour la dégradation du sol sur les versants de pente faible ou moyenne, c'est la densité de drainage des eaux de pluies qui déclenche le processus de destruction des agrégats du sol tandis que le ruissellement n'assure que le transport des particules détachées.

La destruction du couvert végetale ainsi causée par les eaux de ruissellement est un processus géomorphologique très important donc un facteur de la dynamique du relief (Kèkè, 2002). Cependant, lorsque la pente augmente, le ruissellement devient lui-même abrasif et son énergie dépasse celle de la pluie au-delà de 15 % (C.M. Woodruff, 1948**).**

Au Bénin, trois processus sont à l'origine de la dégradation de la terre de barre: la dégradation physique ou érosion hydraulique, celle chimique ou perte de fertilité et la dégradation biologique. La combinaison des facteurs physiques et humains aboutit à des effets complexes de dégradation du couvert végétale du sous bassin versant de la Térou. Il est, en effet, régulièrement menacé par le ruissellement pluvial provoquant les inondations. Ceci entraîne du coup le ralentissement des activités économiques des populations (transport,

agriculture, commerce, etc.). Cette étude a pour but d'étudier les impacts des inondations sur le couvert vegetale dans le sous bassin versant de la Térou.

Situé entre 9° 00' et 9° 42' de latitude nord et 1° 30' et 2° 18' de longitude est, le sous bassin versant de la Térou couvre trois Communes du Bénin à savoir Djougou, Bassila et Tchaourou avec une superficie de 3.320 km² pour une longueur de 139 km (Le Barbe et *al.*, 1993). Le choix de ce secteur d'étude est motivé par le fait que le sous bassin versant de la Térou comporte un barrage de la SONEB qui désert la Commune de Djougou. Ce barrage est menacé de disparition du fait de son tarissement précoce sans cesse. Cela s'explique par la double pression naturelle et anthropique.

En effet, une analyse prospective pourrait donc permettre la mise en place de stratégies de gestion durable de l'érosion hydrique dans le sous bassin versant. De même, le sous bassin versant fait l'objet d'une activité agricole et d'exploitation forestière anarchique dégradant son couvert végétal. La figure 1 présente sa situation géographique.

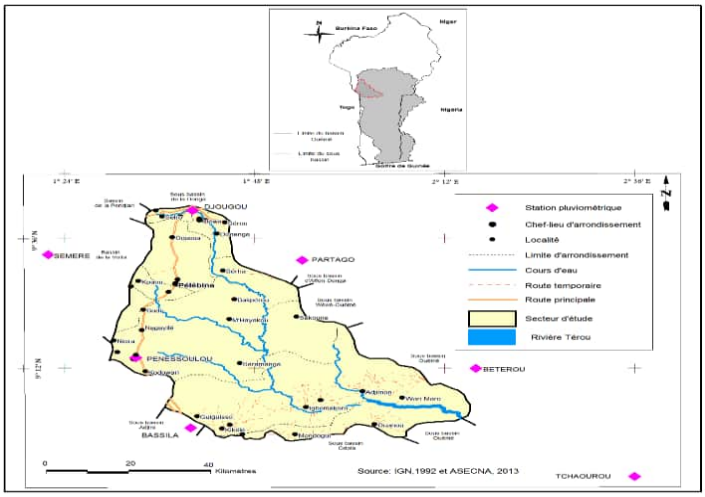


Figure 2: Situation géographique du sous-bassin versant de la Térou

Source : IGN Bénin, 1992 et ASECNA, 2013

1. Données et Méthodes

1.1. Données

Les données de cette étude sont composées de données satellitaires. Les hauteurs de pluies annuelles des stations de Bassila, Bétérou, Djougou, Partago, Pénéssoulou, Pira, Sèmèrè et Tchaourou de la période 2010-2020, sont essentiellement les données climatiques utilisées et l'esquisse pédologique du bassin est le document cartographique exploité. Ces relevés ont permis de déterminer le régime pluviométrique ainsi que la période de manifestation de l'inondation dans le sous bassin versant de la Térou.

Les images satellitaires sont de deux types : l'image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), qui a permis l'établissement du modèle numérique de terrain (MNT) et l'image Landsat OLI-TIRS de 2013, qui a servi à la caractérisation de l'occupation du sol.

1.2. Méthodes

- ***Détermination de la vitesse de sapement.***

La méthode de détermination de la vitesse de sapement des fondements consiste à quantifier la perte des terres autour des fondations des établissements humains montrant des indices d'érosion hydrique. La vitesse de sapement est déterminée par la formule : $V_s=h/a$ ou : $V_s=$

Vitesse de sapement exprimé en centimètre h = profondeur de la rigole a= âge de l'infrastructure.

Pour quantifier le volume de terre perdu Q (cm) sur une unité de rigole donné, on utilise la formule suivante : Q=L x l x h avec L= longueur l = largeur

h=profondeur de la rigole Cette méthode a été utilisée par Eténé (2005) et Biaou (2007) sur les plateaux du Bénin méridionale.

- ***Détermination du débit écologique.***

Il constitue un paramètre important dans la caractérisation des risques hydroclimatiques. Il est obtenu par la formule :

$$Débit_Ecologique = \frac{Débit_Moyen}{10}$$

Les périodes dont les valeurs sont en dessous ou au-dessus des seuils sont considérées comme des périodes à risques hydroclimatiques avec des conséquences y afférentes comme la turbidité qui est un facteur écologique important qui peut aboutir à une eutrophisation des cours et plans d'eau et résulte de la présence de diverses matières en suspension.

- ***Recherche de liaison ou de dépendance statistique entre pluie et lame d'eau écoulée***

Le coefficient de corrélation linéaire a été utilisé pour mesurer le degré de liaison ou de dépendance qui existe entre les lames précipitées et les lames écoulées dans le secteur d'étude. Il est défini par :

$$r = \frac{\frac{1}{N}\sum\left(Xi - \bar{X}\right)\left(Y - \bar{Y}\right)}{\sigma(X).\sigma(Y)}$$

Avec : N est le nombre total d'individus ; xi et yi sont les valeurs des séries ; et ȳ sont les moyennes des variables ; σ(x) et σ(y) représentent leurs écart-type respectifs.

✓ ***Le coefficient de détermination*** R est obtenu par :

$$R = r^2$$

2. Résultats et Discussion

2.1. Etat des formations végétales naturelles et unités d'occupation du sol

Le paysage végétal actuel du sous bassin versant de la Térou est le résultat de la combinaison des facteurs naturels et anthropiques. Ainsi, les formations naturelles sont constituées des forêts denses, galeries, claires et saxicoles ainsi que les savanes arborées et arbustives. Tandis que les champs de culture et les plantations sont les formations anthropiques.

Cependant, les galeries forestières (photo 1.2) observées le long de la rivière Térou et de ses affluents sont constituées des espèces Cola gigantea, Hexalobus crispiflorus, Pouteria alnifolia, Berlinia grandiflora, Lecaniodiscus cupanioides, Napoleona vogelii, Pterocarpus santalinoides, etc. Les savanes arborées et arbustives (photo 1.1) issues de la dégradation avancée des forêts claires ou de la savane boisée et de la restauration des jachères agricoles sont les plus étendues dans le sous bassin versant de la Térou.

Selon Houinato et al., (2001) et Akouègninou, (2004), les espèces les plus fréquentes dans

ces savanes arborées et arbustives sont entre autres, Butyrospermum paradoxum, Parkia biglobosa, Danielia oliveri, Terminalia spp, Detarium microcarpum, Pericopsis laxiflora, Burkea africana, Borasus aethiopum, Tamarindus indica. Les mosaïques de cultures et de jachères sont constituées de cultures annuelles (maïs, manioc, igname, arachide, coton etc.) et quelquefois semées en association avec l'anacardier, le néré ou le karité (Akouègninou, 2004).

Les plantations sont essentiellement constituées d'espèces comme le teck (Tectona grandis), l'anacardier (Anacardium occidentale), les acacias et les eucalyptus. Elles jouent un rôle important dans la reconstitution des terres surtout lorsqu'elles sont mises en jachère. En outre, la superficie de chaque unité d'occupation du sol a subi des modifications entre 2010 et 2020. En somme, les formations anthropisées ont progressé au détriment des composantes naturelles qui ont régressé (figure 2).

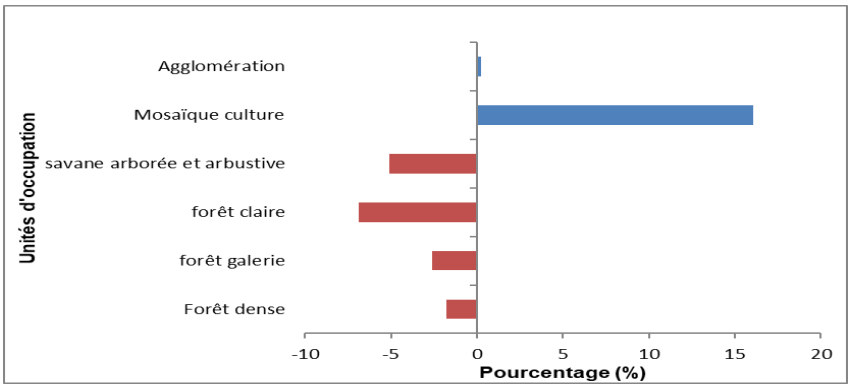


Figure 2 : Evolution des unités d'affectation des terres entre 2010 et 2020

Source des données : Fond topographique, 1992 et enquête de terrain, octobre, 2023

La figure 8 permet de constater que dans cette période, les galeries forestières ont connu une diminution de 2,63 % ; la forêt dense a régressé de 1,76 %; les forêts claires sont réduites de 6,88 % et les savanes arborées et arbustives de 5,08 %. Par contre, les mosaïques de cultures ont connu une augmentation de 16,07 %. Les figures 9 et 10 présentent l'évolution des états de surface entre 2010 et 2020.

Il ressort de l'analyse de ces deux figures (9 et 10) qu'en 2012, la mosaïque de culture et les agglomérations ont progressé pour atteindre respectivement 20,89 et 0,26 % de la superficie totale du sous bassin versant. Quant aux forêts denses et savanes arbustives et arborées, elles ont régressé et atteint respectivement 2,19 et 54,94 % de la superficie du sous bassin versant.

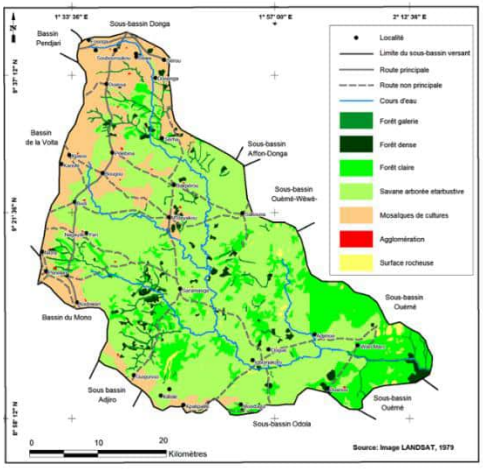


Figure 9 : Etat d'affectation des terres dans le sous bassin versant de la Térou en 2010

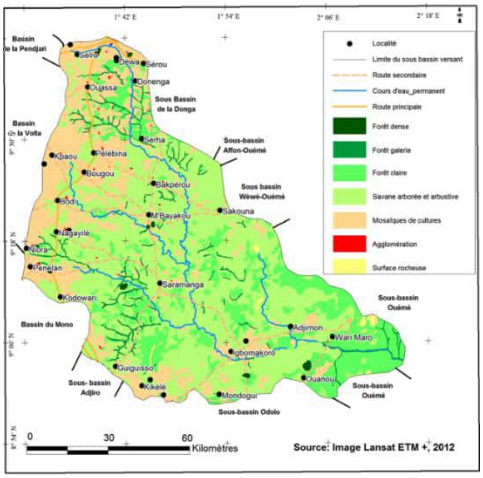


Figure 10 : Etat d'affectation des terres dans le sous bassin versant de la Térou en 2020

1.2 *Dégradation du couvert végétal par l'inondation*

Les sols nus sont composés des agglomérations, des affleurements rocheux, des vons et des routes. Les effets de l'inondation sont énormes sur les sols nus. Ainsi, pour 50 % des enquêtés, l'érosion hydrique provoque le déchaussement des infrastructures notamment les bâtiments, la rupture des ponceaux, la pollution des eaux de puits créant les maladies gastriques en saison pluvieuse aux populations. De même, la dégradation des voies par le ruissellement des eaux de pluies augmentent les risques d'accident de route. Les dépôts de sédiments dans les cours d'eau et collecteurs des eaux entrainent leur obstruction. La planche 1 illustre un sol érodé par le ruissellement des eaux de pluies.



Planche 1: Déchaussement d'une maison à Soubouroukou (1.1) et dégradation de la voie à Pélébina (1.2)

Prise de vue :Azian, Mai 2023

L'analyse de cette planche révèle que l'inondation génère de dégâts sur les bâtiments par le sapement des fondations entraînant souvent leur écroulement. Elle augmente également le risque d'accident de route par la dégradation des voies.

1.3. *Destruction des champs et culture par l'inondation*

Les dégâts matériels ont augmenté ces dernières années entre 2000-2017 selon près de 98 % des interrogés. Les inondations de 2020 ont entraîné 03 morts. Au terme des inondations, le déroulement des activités économiques entraine ainsi la paupérisation des ménages, la perte de confiance et la méfiance réciproque entre et au sein des communautés; l'exacerbation des conflits inter et extra-communautaires.

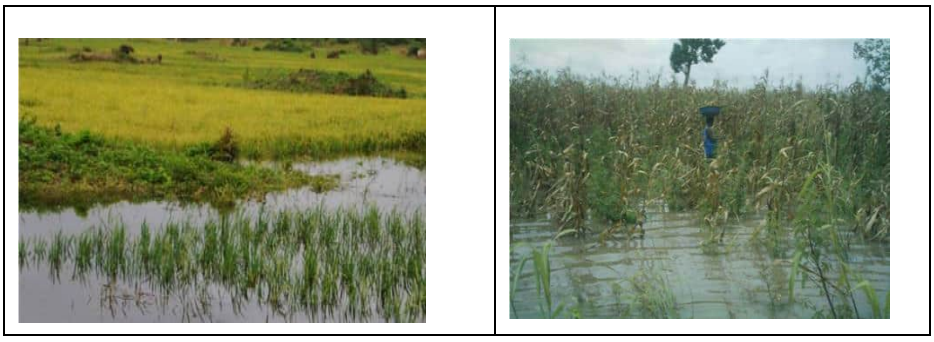


Planche 2: Spéculations envahies par les inondations

Prise de vue :Azian, Mai 2023

La planche 2 présente un champ envahie par les eaux. Cette situation entraine une destruction des récoltes et par conséquent une diminution des rendements. Elles touchent chaque année 85,19 % de la superficie totale du bassin versant

1.4. Impacts des forêts sur la dégradation du sol

La végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau. Elle a également tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et à favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Son efficacité à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité de son couvert végétal. La meilleure façon de combattre l'érosion est de miser à la fois sur un couvert végétal et sur des résidus de culture (forêts et pâturages permanents) qui couvrent complètement le sol et qui interceptent les gouttes de pluie à la surface du sol et près de celle-ci.

Conclusion

Les différents paramètres topographiques, pédologiques et d'occupation du sol ont permis de caractériser l'impact des inondations sur le couvert végétal du sous bassin versant. L'analyse cartographique a permis de déterminer les risques d'érosion hydrique dans le sous bassin versant. Ainsi par exemple, les zones de forte vulnérabilité à la dégradation du couvert végétale sont localisées sur les périmètres de cultures situés sur de pentes fortes et aux points bas du lit majeur des cours d'eau du sous bassin versant. De même, les zones à fort risque sont situées sur les versants de fortes pentes, les sols dénudés.

Bibliographie

Azontonde A. **(1981)** : Synthèse des travaux sur l'érosion hydrique en République Populaire du Bénin de 1960-1980, 16 p.

Azontonde A. **(1988) :** Conservation des sols et des eaux en République Populaire du Bénin ; Bilan des actions passées et perspectives, 9ème réunion de corrélation des sols, 50 p.

Gregoire J-M., Giovani F. **(1990)** : Suivi par télédétection des changements d'état de surface sur les bassins du Haut-Sénégal, de la Gambie et du Rio Corubal (novembre 1987- décembre 1988). *Télédétection et sécheresse*, éd. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 81-93.

Hamma Y. **(2004)** : Cours de conservation des eaux et des sols (version éléctronique). http://www.bf.refer.org/toure

Hammouda N. **(2006)** : Evolution de l'occupation des sols et de l'érosion dans le bassin versant de Tleta (RIF occidental, Maroc), Mémoire d'ingénierie en agronomie, IAV Hassane II Rabat, 140p.

Henin S. et Gobillot T. **(1950)** : L'érosion en France. Bull. Tech. info. 50, pp. 431

Hiepe C., Diekkrüger B. **(2012)** : Modélisation de la dégradation du sol dans la Haute vallée de l'Ouémé. Projet IMPETUS

IMPACTS DES CLIMATS DE HOULES SUR LA PLAGE DE SAN PEDRO

Djahouié Prisca BEUGRÉ épouse ATRI [1] ; Kouassi Guillaume KOFFI [2] ; Mian Joseph ATTA [3]

Département de Géographie, Université Alassane Ouattara, djahouie@uao.edu.ci

Département de Géographie, Université Alassane Ouattara, koffikguillaume05@gmail.com

Département de Géographie, Université Alassane Ouattara, mianjosephatta@gmail.com

Résumé : *La façade maritime de la Côte d'Ivoire est menacée par l'érosion côtière et San Pedro dont les plages sont prisées ne reste pas en marge. L'objectif de l'étude est d'analyser l'impact des climats de houles sur les plages de San Pedro. La méthodologie utilisée est basée essentiellement sur la modélisation de l'évolution du périmètre de plage en fonction des variations climatiques. Il s'est agi de traiter les données de climats de houles fournies par le site NOAA WAVEWATCH III entre 2015 et 2022. L'étude a montré l'évolution du trait de côte des plages de San Pedro sous l'influence des climats de houles exceptionnelles sur la période de 2015-2022. Cette évolution a montré que la tendance évolutive du trait de côte est au recul par endroit avec une vitesse allant de 0,8 à 2m /an. La présence des houles fortes et très fortes est à la base du recul le trait de côte.*

Mots clés : *Houles, Érosion côtière, SIG, San Pedro*

Abstract: Impacts of swell climates on the San Pedro Beach. *Côte d'Ivoire's coastline is threatened by coastal erosion, and San Pedro, whose popular beaches are no exception. The objective of the study is to analyze the impact of swell climates on these beaches. The methodology used is essentially based on modeling the evolution of beach perimeters as a function of climate variations. This involved processing swell climate data provided by the NOAA WAVEWATCH III site between 2015 and 2022. The study demonstrated the evolution of the coastline of San Pedro's beaches under the influence of exceptional swell climates over the period 2015-2022. This evolution showed that the coastline is receding in places, with a speed ranging from 0.8 to 2 m/year. The presence of strong and very strong swells is the cause of the coastline retreat.*

Keywords: *Swells, Coastal erosion, GIS, San Pedro*

Introduction

À l'instar des pays du Golfe de Guinée, les paysages littoraux de la Côte d'Ivoire connaissent une dynamique régressive. Elle est d'origines anthropique (extraction de sédiments) (Yao S., 2012, p. 116) et naturelle donc due aux évènements météo-marins avec les tempêtes de marées provoquant des reculs de traits de côte, des submersions marines voire la destruction des infrastructures et équipements, (Koffi K. P., 2017, p. 300). Ce littoral subit épisodiquement l'attaque de fortes houles qui ont causé des dégâts importants. C'est le cas des marées de tempêtes de juillet 1984, septembre 2016, août 2018 qui ont engendré une prise de conscience des populations et des décideurs des dangers que constitue l'érosion côtière.

Les travaux antérieurs réalisés sur les climats de houles, se sont généralement penchés sur leurs régimes saisonniers et leurs influences sur les côtes à l'échelle mondiale, nationale et même locale (Abé J., 2005, p. 242). Ces études ont non seulement permis de connaître la dynamique du littoral mais aussi les impacts des climats de houle sur l'évolution des littoraux. Cependant, la plage de San Pedro qui fait l'objet de cette étude ne reste pas en marge de cette dynamique littorale. Ce périmètre de plage reste l'un des plus prisées du littoral ivoirien de par ses équipements socio-économique (chenal portuaire et réceptifs hôteliers), de par son aspect morpho-structural (Hauhouot C., 2000, p. 50). Le problème qui fonde cette étude est l'érosion du périmètre du littoral de San Pedro sous l'influence des houles. L'objectif de l'étude est d'analyser l'impact des climats de houles sur le périmètre de plage de San Pedro allant du village Taki à l'Ouest jusqu'à l'ouest du chenal portuaire à l'Est. Spécifiquement, il s'agit d'analyser les caractéristiques des climats de houles sur la période de 2015 à 2025, de

déterminer la dynamique du périmètre de plage et d'analyse le lien entre les climats de houles et la dynamique du littoral Ouest du chenal portuaire de San Pedro.

1. Présentation de l'espace d'étude

Le cordon littoral de San Pedro (figure 2) qui fait l'objet de l'étude est situé à l'Ouest du littoral ivoirien. Ce périmètre de plage fait partie du secteur Tabou-Sassandra dominé par une côte semi-rocheuse en échelon, où on distingue des plateaux dont l'altitude varie entre 100 et 120 m (Hauhouot 2000, pp. 50-51) et (Yao S. 2012, p. 17). Il s'étend sur un segment de 10 kilomètres, et est situé entre les latitudes 4°42'22'' et 4°44'0'' Nord et les longitudes 6°42'0'' et 6°37'0'' Ouest. Il part de la pointe rocheuse de Taki à l'Ouest jusqu'à l'Ouest du chenal portuaire à l'Est.

2. Données et méthodes

2.1. Données

Les données utilisées pour cette étude sont les données climatologiques et les imageries satellitaires. Les données relatives aux climats de houles ont été fournies par le site NOAA WAVEWATCH III. Ces données concernent le nombre de jours moyens sur la période 2015-2022. Les images satellitaires utilisées dans cette analyse proviennent de la plateforme Google Explorer, qui offre des vues d'ensemble précises et actualisées du littoral. Il s'agit de la comparaison de deux images principales, l'une datant de 2015 et l'autre de 2022. Ces images permettent une observation détaillée de l'évolution du littoral et du comportement de la plage au fil du temps. La comparaison entre ces deux années permet d'identifier les changements qui se sont produits sur le périmètre de plage, notamment la perte de sable, les variations dans la largeur de la plage, et les impacts visibles des houles.

2.2. Méthodes

2.2.1. Régime des climats de houle

Tout comme les plages des littoraux du Golfe de Guinée, les côtes ivoiriennes sont sous le régime des climats de houle faible à moyenne dont les hauteurs sont comprises entre 0,5 et 1,5 m. Ce n'est qu'en période de forte agitation de houles ou en période exceptionnelle (tempête de marée) qu'elles dépassent 2 m de hauteur. L'étude de l'impact des climats de houles sur la plage de San Pedro se base sur l'analyse géospatiale des variations du trait de côte, en utilisant des données satellites de 2015 (mars) et 2025 (janvier). L'approche inclut l'utilisation d'outils SIG et statistiques pour modéliser l'évolution du littoral sous l'influence des houles. La méthodologie comprend plusieurs étapes : la collecte et conversion des données numériques, la digitalisation du trait de côte, et l'analyse des changements à l'aide d'outils statistiques dans ArcGIS, notamment l'extension DSAS 5.

2.2.2. Délimitation du trait de côte

Les images satellites utilisées pour cette étude ont été obtenues sur Google Earth pour mars 2015 et janvier 2025. Elles ont été digitalisées manuellement pour identifier les positions du trait de côte à ces deux dates. Les coordonnées ont été converties dans le système de projection WGS 84 UTM Zone 29 N, adapté à la ville de San Pedro, et les données ont été converties en unités métriques (m) pour faciliter l'analyse des déplacements du littoral. Pour cette étude le choix du trait de côte s'est porté la limite de la végétation côtière. La végétation, comme les herbiers marins et les mangroves, marque la zone stable, permettant ainsi une analyse précise des fluctuations du trait de côte.

2.2.3. Analyse du trait de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte a été réalisée à l'aide de l'outil DSAS 5, qui permet d'effectuer des analyses quantitatives de l'évolution de la ligne de rivage à partir de mesures temporelles. L'EPR mesure la distance entre la position initiale et actuelle du trait de côte entre 2015 et 2025, tandis que le LRR estime la tendance générale de l'érosion ou de l'accumulation sur plusieurs années. Les données ont été préparées à partir d'images satellitaires de mars 2015 et janvier 2025, géoréférencées et alignées avec le système UTM Zone 29N. Les positions du trait de côte ont été extraites et utilisées pour mesurer les variations sur 10 ans. L'analyse de LRR a permis d'identifier les zones les plus vulnérables à l'érosion, avec une marge d'erreur estimée à ± 0,5 m due à la résolution des images satellitaires et la méthode de géoréférencement.

3. Résultats

3.1. Analyse des climats de houles entre 2015 et 2022

L'analyse des climats de houle permet de déterminer les faibles houles dont les hauteurs significatives sont comprises entre 0,5 et 1 m, les houles moyennes dont les hauteurs sont comprises entre 1 et 1,5 m, les houles fortes qui oscillent entre 1,5 et 2 m et les houles très fortes dont les valeurs sont supérieures à 2 m. Entre 2015 et 2022, les hauteurs significatives des houles ont été mesurées sur le périmètre littoral de San Pedro. Ce qui montre une variabilité des classes de houles. Cette variabilité indique que la plage est exposée aux quatre types de houles. L'analyse de la tendance interannuelle révèle que les houles moyennes et fortes dominent la région. La figure 1 présente les fréquences des classes des hauteurs significatives de houle entre 2015 et 2022.

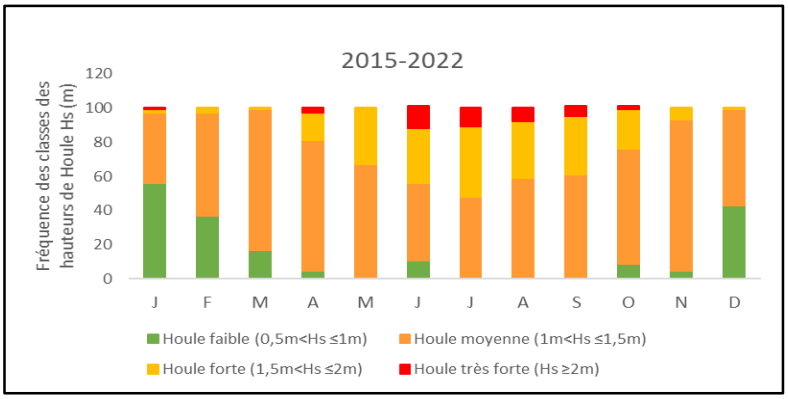


Figure 1 : Fréquences des classes des hauteurs significatives de houle entre 2015 et 2022

Source : *Source : NOAA WAVEWATCH III*

Cette figure montre que les houles faibles représentent 15,46 % des observations, avec des pics en décembre (43 %), janvier (56 %) et février (37 %). Les houles moyennes, représentant 62,09 %, sont présentes toute l'année, avec une forte prévalence en mars (82 %) et novembre (88 %). Les houles fortes apparaissent 18,79 % du temps, leur fréquence étant plus élevée entre mai et octobre. Les houles très fortes, qui constituent 3,66 % des événements sont rares mais exceptionnelles, étant à l'origine de tempêtes, submersions marines.

3.2. Dynamique du trait de côte San Pedro (Taki-Ouest du chenal portuaire)

Le périmètre de plage allant de Taki à l'Ouest du chenal portuaire de San Pedro a connu de façon générale une accrétion entre 2015 et 2025. Cette évolution n'est pas uniforme sur toute la plage. La figure 2 montre l'évolution du segment côtier de Taki à l'Ouest du chenal portuaire de San Pedro.

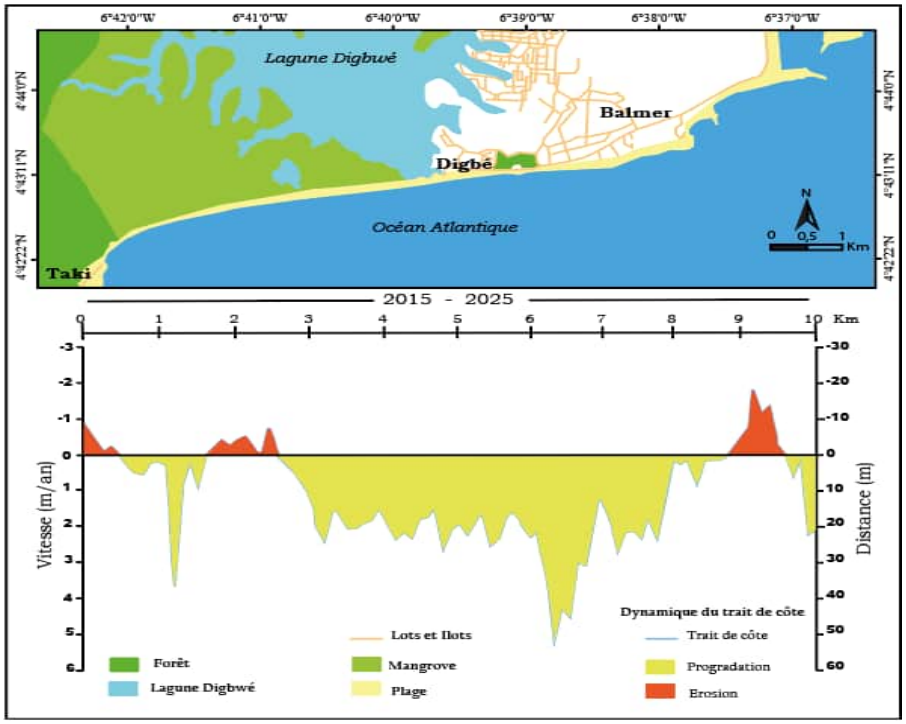


Figure : Évolution du segment côtier de Taki à l'Ouest du chenal portuaire de San Pedro

Source: Google Explorer 2015-2022, NOAA WAVEWATCH III

Le trait de côte connaît une tendance générale au recul dans certaines zones. À l'Est de la pointe rocheuse de Taki, le recul atteint 9 m sur la période d'observation, soit une vitesse de 0,9 m par an. Dans la baie de Taki, un recul d'environ 8 mètres est constaté, ce qui correspond à une vitesse de 0,8 m par an. Sur ce cordon, les taux de recul les plus importants sont observés à Balmer, avec un recul de 20 m, soit une vitesse de 2 m par an.

3.3. Influence des climats de houles sur la dynamique du littoral Ouest du chenal portuaire de San Pedro

L'érosion observée sur ce périmètre de plage est créée par les phénomènes météo marins dont les climats de houle. La fréquence des houles fortes (18,79 %) et des houles très fortes (3,66 %) engendrent des courants de retour qui sont les principaux facteurs de transit sédimentaire. Le transit sédimentaire étant du sens Ouest-Est sur cette côte, donc sous l'influence de l'énergie des deux classes de houles ont provoqué le recul du trait de côte comprise entre 20 et 3 m sur la période d'observation.

4. Discussion

4.1. Analyse des climats de houles

Cette étude présente une plage qui évolue sous l'influence des phénomènes hydrodynamiques dont la houle est l'une des principales. Elles sont reparties en quatre saisons dynamiques. (Koffi 2017) confirme ces résultats à travers son étude sur l'évolution morpho-sédimentaire du littoral ivoirien : remaniement sédimentaire à l'échelle multi-temporelle. Pour lui également, les faibles houles ont des hauteurs comprises entre 0,5 et 1 m. Pour les houles moyennes, les hauteurs sont comprises entre 1 et 1,5 m. Les houles fortes ont des hauteurs comprises entre 1 et 1,5 m et les houles très fortes avec des hauteurs significatives supérieures à 2 m. Beugré D., (2019, p. 249) à travers son étude sur la temporalité faite à partir des profils moyens les a repartis également en quatre saisons dynamiques.

4.2. Dynamique du trait de côte

L'analyse de la dynamique du trait de côte révèle que, globalement, la tendance évolutive de ce littoral est marquée par une accrétion, bien que des reculs soient observés à l'Est. Ces résultats sont en accord avec ceux de (Yao S., 2012, p. 116), qui indique qu'entre 1995 et 2009, le trait de côte a montré une stabilité, accompagnée d'une dynamique érosive, avec une vitesse moyenne de recul de 1 à 2,5 m/an sur le segment côtier Est.

4.3. Influence des climats de houles sur la dynamique du littoral

La fréquence des houles moyennes joue un rôle clé dans la stabilité des plages, voire dans l'accrétion de la majorité du trait de côte. Cependant, le recul localisé est attribuable aux houles fortes et très fortes, qui attaquent les côtes et déplacent les sédiments vers l'Est, notamment dans les zones de Digbé et à Balmer. Ces résultats viennent corroborer les observations de (Koffi K. P., 2017, p. 300), qui a noté une stabilité à moyen et long terme, malgré la présence de certaines phases érosives ponctuelles.

Conclusion

L'étude portant sur les climats de houle de la plage de San Pedro avait pour objectif d'analyser leur impact sur la dynamique de cette plage. Elle est basée sur la collecte de données de houle sur NOAA WAVEWATCH III entre 2015-2022 et la digitalisation des traits de côte de 2015 et de 2025 à travers Google Explorer pour en déterminer la dynamique. A la suite de l'étude, l'analyse des climats de houles révèle que sur la période d'observation la majorité des houles qui attaquent les plages sont les houles moyennes qui sont à la base de l'accrétion de la plage. Cependant les houles fortes et très fortes favorisent l'érosion des plages de Taki et de Balmer.

Bibliographie

ABE J., 2005 : *Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan) Essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle,* Thèse de Doctorat d'État es. Sc. Nat., Univ. Abidjan, 345 p.

AOUDJ C., MEZOUAR K., GUERFI M., SALLAYE M., CHERIF S.Y, DAHMANI A.E.A, BOUKHENNAF A., 2020 : Évolution spatio-temporelle du trait de côte du littoral centre Algérien : cas de la baie de Zemmouri XVIèmes *journées Nationales Génies Côtier-Génie Civil Le Havre, Disponible sur : DOI :10.5150/jngcgc.2020.019, pp 167-176.*

BAMBA Y., HAUHOUOT C., DANGUI N.P., BEUGRE D.P., YAO K.S., 2016 : Cartographie de la sensibilité du littoral Jacqueville-Port-Bouët à l'érosion côtière. *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et de Développement des Suds,* ISSN 2414-4150, **n°2,** 18 p.

BEUGRE D., 2019 : *Étude de la dynamique morpho-sédimentaire du littoral entre Abouakro et Assouindé (Assinie, Côte d'Ivoire*, Thèse, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjan, 283 p.

HAUHOUOT C., 2000 : *Analyse et cartographie de la dynamique du littoral et des risques naturels côtiers en Côte d'Ivoire*. Thèse de Doctorat Unique, Université de Nantes, 289 p.

KOFFI K. P., 2017 : *Étude de l'évolution morpho-sédimentaire du littoral ivoirien : remaniement sédimentaire à l'échelle multi-temporelle*, Thèse de Doctorat du 3ième cycle, Univ. Félix Houphouët Boigny, 451 p.

KONAN E K ABE J., AKA K Neumeier U, Nyssen J., Ozer A., 2016 : *Impact des houles exceptionnelles sur le littoral ivoirien du Golfe de Guinée*, Géomorphologie : relief ; processus, environnement 2016, vol. 22, **n°1**, pp.105-120

YAO S., 2012 : *Étude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental Ivoirien entre Tabou et Sassandra : Approches morpho-bathymétriques, sédimentologiques et exoscopiques*, Thèse, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, 199 p.

STRATEGIES D'ADAPTATION ET SYSTEME D'ALERTE PRECOCE DANS LA COMMUNE DE DANGBO AU SUD DU BENIN

Sègla Maurille DANSOU[1], Eric SEBO VIFAN[2], Djafarou ABDOULAYE[1, 3] Kouété Hervé KOUDJEGA[1]., Expédit Wilfrid VISSIN[1,3]

1 Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)
2 Enseignant chercheur à l'Université nationale des sciences, technologies, ingénierie et mathématiques (UNSTIM)
3 Enseignant Chercheur au Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, FASHS, UAC, Rép. du Bénin) 01BP 2009 Cotonou BENIN
koudjegaherve@gmail.com, exlaure@gmail.com

Résumé : *Les conséquences des changements climatiques se manifestent par la récurrence des risques climatiques tels que les inondations, désastreux pour des communautés rurales dépourvues de solutions durables. Cette étude vise à faire ressortir les mesures endogènes de prévention des risques hydro-climatiques et les seuils et niveaux d'alerte pour le risque inondation. Pour y parvenir, une approche méthodologique axée sur la collecte, le traitement et l'analyse des résultats a été adoptée. Une analyse fréquentielle des données de pluie journalières et des débits de pointe ont été faits afin de déterminer les valeurs de pluies et des crues maximales. L'élaboration du Système Intégré d'Aide à la Décision s'est basée sur l'approche MERISE et L'UML.*

Mots clés *: Système d'alerte précoce, stratégies d'adaptations, Dangbo*

Abstract: Adaptation strategies and early warning system in the commune of Dangbo in southern Benin. *The consequences of climate change are manifested by the recurrence of climate risks such as flooding, which are disastrous for rural communities lacking sustainable solutions. This study aims to highlight endogenous measures for preventing hydroclimatic risks and the thresholds and alert levels for flood risk. To achieve this, a methodological approach focused on the collection, processing, and analysis of results was adopted. A frequency analysis of daily rainfall and peak flow data was conducted to determine maximum rainfall and flood values. The development of the Integrated Decision Support System was based on the MERISE approach and the UML.*

Keywords: *Early warning system, adaptation strategies, Dangbo*

Introduction

En Afrique, la plupart des gouvernements nationaux mettent en place des systèmes de gouvernance pour l'adaptation aux changements climatiques. La gestion des risques de catastrophe, l'adaptation des technologies et des infrastructures, les démarches écosystémiques, les mesures de santé publique de base et les diversifications des modes de subsistance contribuent à réduire la vulnérabilité des populations bien que les efforts déployés à ce jour tendent à être isolés (GIEC, 2014). Face à ces changements, diverses options endogènes, agronomiques, institutionnelles et technologiques d'adaptation sont régulièrement mises en œuvre et souvent intégrées dans les programmes existants comme la gestion des risques de catastrophes et de l'eau (GIEC, 2014,). Dans cet ordre d'idées, les inondations de 2019 ont touché les communes de Dangbo, avec comme conséquences beaucoup de boue observée sur les terres argileuses au coeur du bassin et toutes les localités affectées selon l'ANPC. Cette même source fait état de 1.482 personnes affectées avec 258 ménages sinistrés. Des stratégies d'adaptation collectives et individuelles peuvent être employées à partir du développement d'un système intégré d'aide à la décision pour la gestion des risques hydroclimatiques.

La Commune de Dangbo, faisant partie intégrante de la basse vallée de l'Ouémé, elle subit des inondations dues aux effets conjugués des événements pluviométriques et hydrométriques extrêmes, qui se traduisent par une baisse des rendements agricoles, des dégâts importants au niveau des infrastructures, des habitations, des services de santé et parfois des pertes en vies humaines. Elle est située dans le département de l'Ouémé au sud-est du Bénin. Comprise

entre 06° 25' et 06° 39' de latitude nord et 02° 21' et 02° 30 de longitude est (figure 1), et s'étend sur une superficie de 149 km2 avec une densité de 647 hbts/km^2.

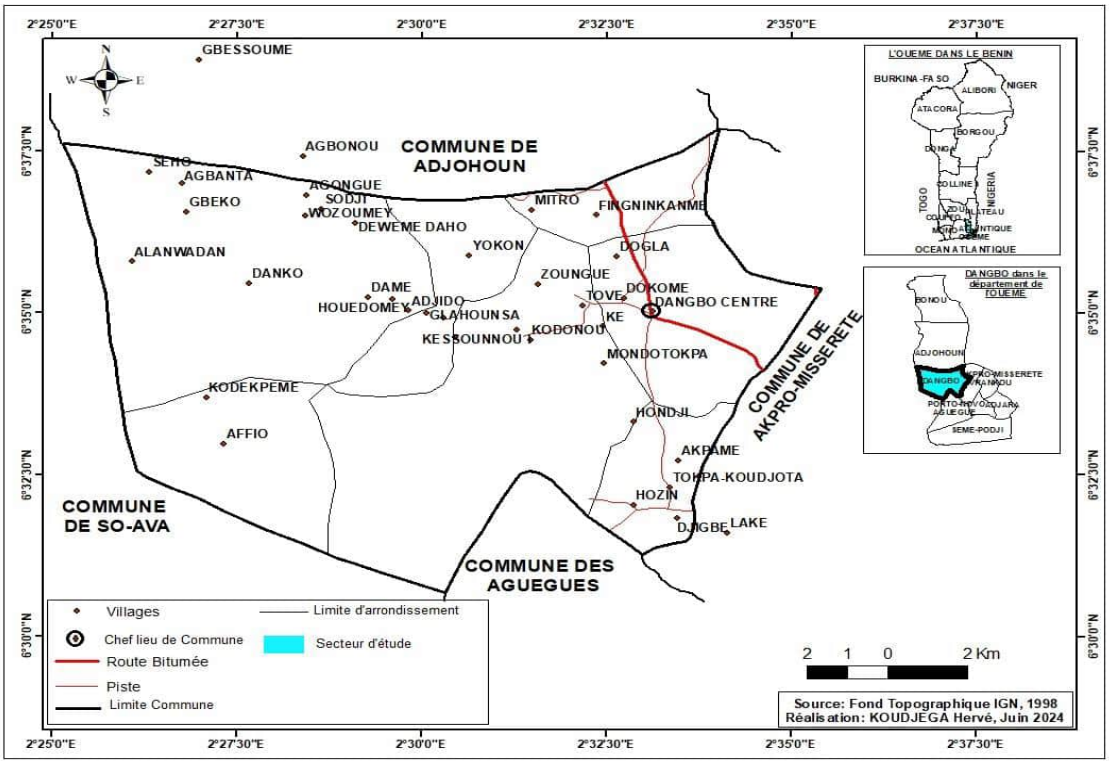


Figure 1. Situation géographique de Commune de Dangbo

2. Donnée et Méthode

2.1. Types de données et matériels de collecte

Les types de données utilisés sont principalement la pluviométrie, la température et la côte qui marque la hauteur de l'eau par rapport à la section mouillée en un point. Le débit est la deuxième donnée. Elle peut s'obtenir à l'aide d'un débitmètre ou de la courbe de tarage en des points bien précis. On dispose aussi de données qualitatives, provenant des investigations socio-anthropologiques (Ces informations portent sur les repères environnementaux de prévision et de description des saisons et types de temps).

2.2 Traitement des données et modèle d'analyse

Nous avons procédé au calcul du bilan hydrologique s'appuyant sur les travaux de Triboulet *et al.* (2015) selon les formules sont les suivantes :

VAB : Volume des Apports Brut., VEV : Volume d'Eau Evaporé., VTT : Volume Total Turbiné (VT1 + VT2)., VFC : Volume des eaux de fuite et consommation potabilisation, VFR : Volume des eaux de résurgence, VEI : Volume des eaux industrielles consommées, VTA : Volume total aval, VDR : Variation de réserve, VDV : Volume total déversé (évacuateurs et jet creux).

$$VAB = VDR + VTT + VDV + VFR + VFC + VEI + VEV.$$

En valeurs comparées, VFC, VEI, VFR sont négligeables devant les autres termes de la relation. VTA sera le volume total aval qui sera la somme des volumes turbinés et déversés. La relation s'écrit alors :

$$VAB = VDR + VTA + VEV.$$

2.3 Modèle d'analyse des crues

Le modèle d'analyse ici associe des débits journaliers et leurs quantiles à chaque date mais aussi des grandeurs «hybrides» que sont le débit moyen journalier le plus fort du mois, ses quantiles et ses valeurs remarquables. On associe donc ici un pas de temps journalier et le pas mensuel pour l'analyse fréquentielle des débits journaliers regroupés mois par mois. Pour la période du retour de crue , elle est fonction de l'ouverture des vannes du barrage et est corroborée par les témoignages des populations impactés par les effets de la crue.

2.4. Méthode de cartographie des risques d'inondation

La cartographie des risques d'inondation prend en compte beaucoup de paramètres comme le souligne l'équation du risque

$$\mathbf{R = f\ (}\boldsymbol{A, E, V, I, t, s}\mathbf{)}$$

A= aléa, **E**= enjeu ou élément à risque, **V**= vulnérabilité, **I**= résilience, **t** et **s**=dimensions spatio-temporelles.

Le risque est exprimé selon l'UNDRO (United Nations Disaster Relief Office) par le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité.

$$\textbf{Risque = Aléa x Vulnérabilité}$$

3. Résultats et Discussion

3.1. Signes annonciateurs locaux et mesures endogènes de gestion des inondations : Indicateurs zoo-météorologiques

Dans la commune de Dangbo, plusieurs signes locaux donnent l'alerte des inondations aux communautés. Ces différents signes locaux permettent aux communautés de prendre déjà de premières dispositions pour faire face aux effets néfastes des inondations. Ces différents signes annonciateurs sont pratiquement les mêmes dans toute la Commune : i) le vol des oiseaux en colonie sur le fleuve Ouémé de façon répétée traduit que ces oiseaux vont à la rencontre de l'ouémé (donc il y aura inondation); ii) le cri des crapauds dans la brousse ; iii) la sortie des fourmis mangeant dans le village ; iv) la montée des escargots sur les arbres, v) la sortie de l'arc-en-ciel sur le fleuve pendant les périodes de survenance des crues, vi) la montée des rats sur les supports en hauteurs, vii) l'éclosion des œufs des crapauds, viii) le tarissement considérable des eaux du fleuve ouémé annonce une saison d'inondation intense, iv) la piqure des moucherons appelés en langue vernaculaire (djèhli) sont autant d'indicateurs locaux qui annoncent les inondations dans le bassin du fleuve ouémé. La planche 1 montre les photos de quelques oiseaux aquatiques typiques annonciateurs des pluies dans les différentes localités parcourues.





Planche 1 : Photo de quelques oiseaux typiques annonciateurs d'inondation ?

Les mesures endogènes de prévention des risques d'inondations sont de plusieurs ordres. Ces mesures sont adoptées pour pallier aux manques d'information, de prévision et d'annonce de crue. Une fois l'apparition de ces signes, les populations adoptent plusieurs mesures de réponse.

Les mesures adoptées sont entre autres le renforcement des murs par des digues de sables et de tronc d'arbre, l'évacuation des eaux dans les chambres par la création des tranchées, la transformation des tables en lit de couchage dans les chambres, le déplacement des populations dans des tentes installées pendant la période, l'utilisation des écoles construites en hauteur et en matériaux définitifs pour servir les lieux d'habitation temporaire pour les populations. Ces techniques peu efficaces occasionnent parfois le décés des enfants par noyade car la hauteur atteinte par l'eau pendant l'inondation est de 0.5-1.5m parfois 2m.

3.2 Marquage des laisses de crues sur les éléments de référence

La cartographie des laisses de crues et l'identification des portes d'entrée de l'eau dans les villages parcourus sont une phase primordiale pour l'implantation des balises. Il s'agit de matérialiser sur les murs, les arbres et autres infrastructures de référence sociocommunautaires, les niveaux atteints par l'eau pendant les crues des années antérieures. Ces différentes laisses de crues marquées dans les villages parcourus sont utilisées pour la détermination des différents niveaux d'alerte sur les balises.

La planche 2 montre le marquage des laisses de crue et l'identification des points d'entrées de l'eau dans le village.



Planche 2. Marquage des laisses de crue et identification des points d'implantation des balises

Après le marquage des laisses de crues sur des objets de référence, l'étape suivante dans la méthodologie de SAP-C est le nivellement topographique.

3.3 Mise en place des plateformes communautaires d'alertes et gestion de risque dans les trois communes d'intervention

Pour réduire les effets néfastes des inondations et permettre à la population vulnérable d'avoir l'information en temps réel, une plate-forme communautaire est mise en place dans les différents villages parcourus dans le bassin de l'Ouémé. La mise en place de ces platesformes est basée sur le Décret n° 2011-834 du 30 décembre 2011 portant création, composition, attribution et fonctionnement de la Plateforme Nationale RRC-ACC en République du Bénin.

Aujourd'hui dans les différentes communes d'intervention, les canaux d'information sur les risques de catastrophes liés à l'inondation proviennent du Chef d'Arrondissement (CA), Chef de Village (CV) et les radios communautaires.

Discussion

Le rapport de l'étude de faisabilité du système de prévision et d'alerte aux crues dans le bassin du fleuve ouémé montre qu'il est possible d'envisager la mise en place d'un système de prévision et d'alerte. Sur la base des données hydrologiques existantes, il est apparu que la connaissance des débits permettait d'envisager l'établissement de modèles de prévision à 3 jours. Le délai de 3 à 5 jours pourrait permettre aux populations de prendre les mesures les plus urgentes : récoltes précoces, vente des animaux, préparation de l'habitation et déplacement des personnes vulnérables en des lieux non inondés (PCC Ouinhi, 2013). La prévision doit s'accompagner d'une meilleure évaluation du risque.

Ces résultats sont en phase avec ceux de E. Domingo (1996), qui propose la superposition de la cartographie de la dégradation du bassin versant du Mono et celle des risques d'érosion. Les travaux de E. Domingo (1996) ont abouti à une proposition d'un projet d'aménagement du territoire. E. Amoussou (2010) propose un modèle conceptuel débit-pluie qui s'appuie sur le modèle GR4J.

Conclusion

L'opérationnalisation du système d'alerte précoce (SAP) et les services climatiques adossés au webmapping permettent de prévenir et d'amoindrir les effets néfastes des changements climatiques. Tout en étant une opportunité ouverte à divers domaines de l'environnement, le système intégré d'aide à la décision peut permettre une amélioration de la gestion du risque. L'adaptation d'un système d'alerte précoce pourrait permettre de renforcer la prise de conscience des populations en général et des décideurs en particulier sur la thématique des risques météorologiques et climatiques afin qu'elles se préparent en conséquence et apprennent à mieux gérer les risques liés aux changements climatiques à long terme ainsi que les incertitudes qui y sont rattachées.

Bibliographie

A. Sebbar. « Modélisation de l'ilot de chaleur (icu) sur la ville de casablanca », Actes du XXXIV eme colloque international de l ' AIC, 2021.

Amoussou, Y. L., Djaouga, M., Avahounlin, F., Toko Imorou, I., Vissin, W. E., Thomas, O., Dossou, M. et Agbahoungba, A. G.,« Utilisation d'un système d'information géographique (SIG) comme outil de gestion des risques hydroclimatiques du bassin du Mono », Revue scientifique MIRD, vol. spécial, p. 155–164, Juillet 2021.

E. Domingo., 1996. "Pression agricole et risque d'érosion dans le bassin versant du Lomon, affluent du Mono (département du Mono - Bénin)''. In réseau érosion Bull. 16. ORSTOM, Montpellier, pp 181- 194.

E. Amoussou, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, 2010. 313 p.

GIEC, « Changements climatiques 2014, incidences, adaptation et vulnérabilité », Rapport technique, GIEC, 2014. 40 p.

GIEC, « Office for climate education - rapport spécial du giec « réchauffement à 1,5°» », Rapport technique, GIEC, 2019. 23 p.

EFFETS DES EVENEMENTS CLIMATIQUES EXTREMES SUR LA GESTION DES DECHETS SOLIDES ET LIQUIDES DANS LA COMMUNE DE SEME-PODJI AU BENIN

Kachichè Kafiriola Florent DOUMATEY[1], Toundé Roméo Gislain KADJEGBIN[2] et Sènangla Franco-Néo Camus DJESSONOU[3]

[1]*Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ''ECD'' de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC)*
[2]*Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales (UAC), Bénin*
[3]Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystème et Développement *(UAC), Bénin*

E-mail : kadjegbinr@yahoo.com; francodjessonou@gmail.com

Résumé*- Le présent travail examine les effets des évènements climatiques extrêmes sur les modes de gestion des déchets solides et liquides dans la Commune de Sèmè-Podji. L'utilisation des indices a permis d'identifier les évènements climatiques extrêmes. Les investigations de terrain ont permis d'appréhender les perceptions des populations. Les indices pluviométriques sont compris entre -1,43 en 1994 et 1,41 en 2014. En effet, 10 % des années sont modérément sèches et 15 % ont une humidité sévère. La probabilité de survenance des risques d'inondation est élevée dans les mois de juin, juillet et octobre (83 à 95 %). Les températures minimales et maximales ont progressé créant l'accroissement de la décomposition des déchets (46 % des personnes interrogées), les risques sanitaires accrus (28 %) et les difficultés opérationnelles (14 %).*

Mots-clés *: Commune de Sèmè-Podji, évènements climatiques extrêmes, déchets solides et liquides, risques sanitaires*

Abstract*- This study examines the effects of extreme weather events on solid and liquid waste management methods in the Municipality of Seme-Podji. The use of indices made it possible to identify extreme weather events. Field investigations provided insight into population perceptions. Rainfall indices ranged from -1.43 in 1994 to 1.41 in 2014. Indeed, 10% of years are moderately dry and 15% have severe humidity. The probability of flooding is high in the months of June, July, and October (83 to 95%). Minimum and maximum temperatures have increased, leading to increased waste decomposition (46% of respondents), increased health risks (28%), and operational difficulties (14%).*

Keywords*: Municipality of Seme-Podji, extreme weather events, solid and liquid waste, health risks*

Introduction

L'augmentation galopante de la population engendre nécessairement un fort taux d'urbanisation et donc une réduction de l'espace perméable d'où les récurrents évènements climatiques extrêmes enregistrés en Afrique. La vétusté des ouvrages de drainage, l'obstruction des ouvrages par un manque de gestion des déchets solides et liquides, l'incapacité du réseau d'assainissement existant à absorber et à évacuer les eaux de drainage sont autant de causes probables pouvant justifier une telle situation (Afferi, 2017). Le Bénin est exposé à plusieurs types de désastres dont la fréquence et l'ampleur sont aggravées par les effets des changements climatiques, notamment les extrêmes pluviométriques et les phénomènes hydrologiques. Les risques prioritaires auxquels le pays est exposé sont l'inondation, la sécheresse, les épidémies, les conflits sociaux (ANPC, 2016). La manifestation de ces risques a des conséquences sur la plupart des secteurs notamment les secteurs de l'urbanisme et aménagement du territoire, de l'éducation, de l'eau potable, de l'assainissement et la gestion des déchets solides et liquides (Kadadji, 2013).

Les déchets sont collectés par les structures de pré-collecte ou directement déversés dans la nature, utilisée pour le remblai des bas-fonds, enfoui ou incinérée par méconnaissance des lois qui régissent la gestion des déchets au Bénin. Ces stratégies nuisent à l'environnement à travers la promiscuité qui s'établi entre les habitations et les dépotoirs, le comblement des bas-fonds, des caniveaux, etc. et l'inondation (Dansou et Odoulami, 2017). Ces différentes pratiques dégradent le cadre de vie et expose la population à des maladies notamment le paludisme, la fièvre typhoïde, les maladies diarrhéiques et les Infections Respiratoires Aigües

(Kambire et *al.*, 2018). La Commune de Sèmè-Podji n'est pas en marge de cette réalité. Les évènements climatiques extrêmes et la mauvaise gestion des déchets solides et liquides ménagers sont devenus inquiétants au cours de ces dix dernières années. Les incidences des risques climatiques détruisent le mode de gestion des déchets solides et liquides.

La figure 1 présente la situation géographique de la Commune de Sèmè-Podji.

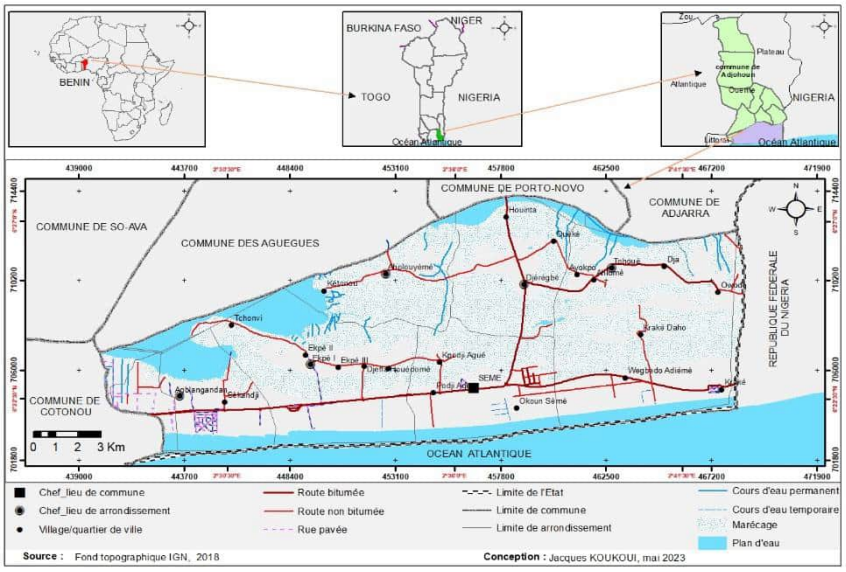


Figure 1. Situation géographique de la Commune de Sèmè-Podji

1. Données et méthodes

Les données climatiques (hauteurs annuelles de pluies, température) de la Commune de Sèmè-Podji sur la période de 1981-2024 sont extraites des fichiers de Météo-Bénin qui ont permis d'étudier l'évolution des précipitations et des températures dans le secteur de recherche. Les statistiques des maladies notamment des affections d'origines hydriques enregistrées dans le secteur de recherche ont été collectées aux centres de santé publique, dans les ménages interviewés. Elles ont servi à une brève analyse de l'évolution des maladies hydriques pendant les évènements extrêmes climatiques dans le secteur de recherche. Les données socio-anthropologiques sont relatives aux données sur le mode de gestion des ordures solides ménagères. Ces données sont complétées par celles issues de l'analyse bibliographique et des enquêtes socio sanitaires réalisées avec 288 ménages retenus sur 37249 ménages que compte la Commune de Sèmè-Podji (INStaD, 2023) à partir du protocole statistique de Schwartz (2002). Pour cette recherche, l'analyse statistique des données a été faite aux moyens des statistiques descriptives et de tests statistiques. En effet, pour les variables qualitatives, les fréquences des réponses ont été calculées alors que pour les variables quantitatives, les moyennes et erreur-type ont été calculées. Les bases de données ainsi obtenues sont exportées sous SPSS version 17.0 pour la tabulation. La moyenne arithmétique est employée pour calculer la moyenne des hauteurs de pluies, températures moyennes mensuelles et annuelles dans la Commune de Sèmè-Podji. Il a été également calculé les coefficients de variation des différentes séries climatologiques et des données sur les maladies hydriques dans le milieu de recherche. L'Indice d'Anomalies Standardisées (Strandardized Precipitation Index) utilisé pour cette recherche correspond à la transformation de la série temporelle des précipitations en une distribution normale standardisée de moyenne nulle et d'écart-type unitaire, également appelée z-distribution, distribution normale ou distribution gaussienne. Les indice d'anomalies standardisées sont calculés en utilisant la

formule : $\text{IAS} = \frac{Xi-\overline{X}}{\sigma(X)}$ où Xi représente le cumul moyen annuel des hauteurs de pluie pour l'année i ; $\overline{X}$ et $\sigma(X)$, représentent respectivement, la moyenne et l'écart type de la série considérée. Dans ce travail, les indices négatifs ont été déterminés par rapport à l'indice pluviométrique de Lamb. Selon cet indice, une année est considérée comme normale si son indice est compris entre -0,1 et +0,1. Elle est dite humide si son indice est supérieur à 0,1 et sèche lorsque son indice est inférieur à -0,1.

2. Résultats et discussions

2.1. Indicateurs des extrêmes climatiques dans la Commune de Sèmè-Podji

La variabilité pluviométrique dans la Commune de Sèmè-Podji se traduit par des évènements climatiques extrêmes qui sont de plus en plus fréquents pendant la période 1981-2024 (figure 2).

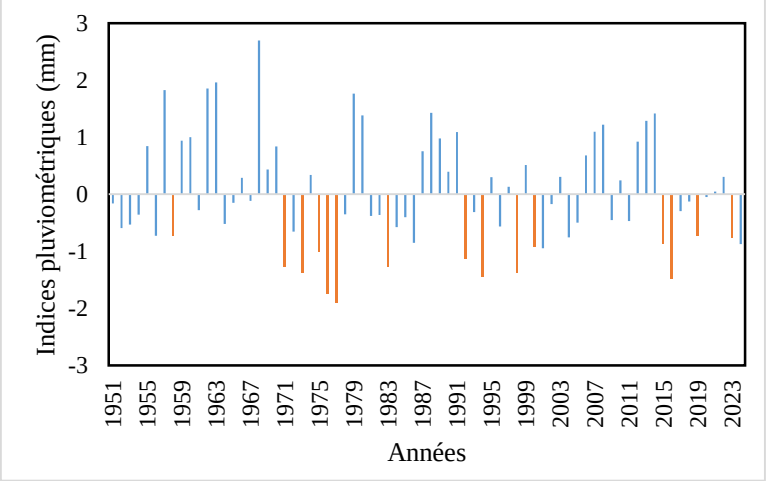


Figure 2. Indices pluviométriques sur la période de 1981 à 2024
***Source des données** : Météo-Bénin, 2025*

L'examen de la figure 2 montre que les indices sont compris entre -1,43 en 1994 et 1,41 en 2014. En effet, 71 % des années sont normales, 10 % sont modérément sèches, 15 % ont une humidité sévère et 3 % sont sévèrement sèches. Les années modérément sèches, sévèrement sèches, d'humidité extrême et d'humidité sévère constituent les années de catastrophes climatiques dans la Commune de Sèmè-Podji. Ainsi, 28 % des années pluviométriques ont connu des catastrophes climatiques dans le secteur de recherche sur la période 1981-2024. Selon 73 % des producteurs interrogés, les années 1988 et 2010 coïncident avec les inondations dont ils se souviennent. L'analyse multi variée, par le biais de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) permet de déterminer les périodes où les inondations sont importantes dans la Commune de Sèmè-Podji (figure 3).

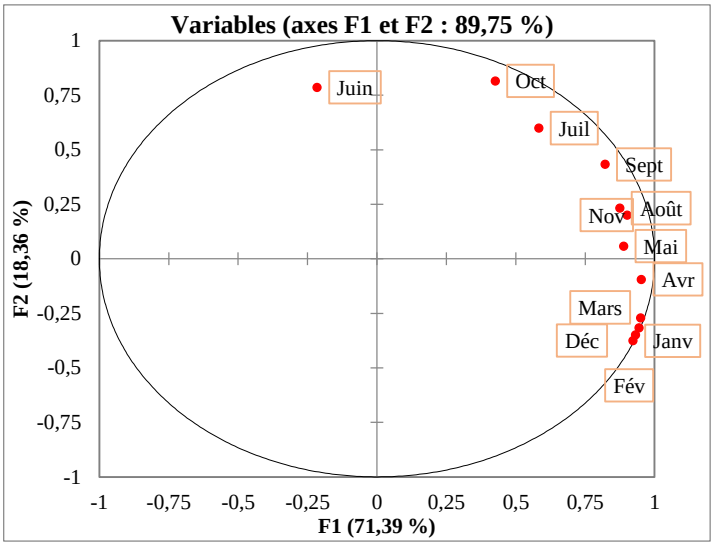


Figure 3. Corrélation de Pearson des périodes d'inondation dans la Commune de Sèmè-Podji
Source : *Enquêtes de terrain, octobre 2024*

De l'analyse de la figure 3, il est noté une absence d'inondation au cours des mois de décembre, janvier, février et mars. Ce phénomène d'inondation est également observé durant les mois d'avril, de mai, d'août de septembre et de novembre. Par contre, les mois de juin, juillet et octobre sont des mois où la probabilité du risque d'inondation dans la Commune est élevée avec une probabilité allant de 83 à 95 %. Les températures minimales et maximales ont connu une croissance entre 1981 et 2024. La figure 4 présente l'évolution des températures minimales et maximales à partir de l'indice de Lamb entre 1981 et 2024 dans la Commune de Sèmè-Podji.

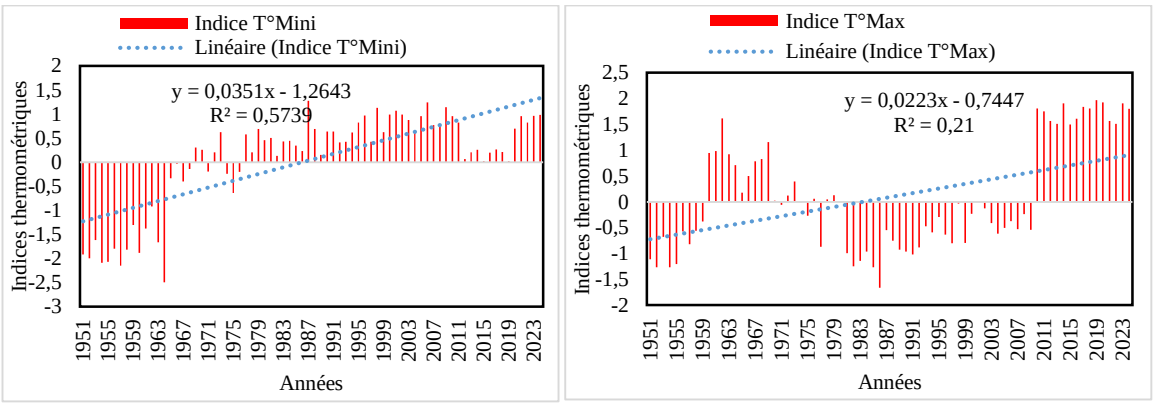


Figure 4. Evolution interannuelle des températures minimales et maximales dans le secteur de recherche entre 1981 et 2024
Source des données : Météo-Bénin, janvier 2025

Il ressort de la figure 4 que les températures minimales et maximales ont progressé durant la période 1981-2024. Les équations de droite de tendance ont une pente positive et justifient plus ou moins une tendance à la hausse des températures. Le coefficient de détermination est très élevé (R^2 = 0,5739 et 0,21). Cette situation engendre de fortes amplitudes thermiques diurnes et annuelles avec de très fortes valeurs d'évapotranspiration potentielles pendant les périodes chaudes. L'augmentation des températures due au fort rayonnement solaire déploré par les populations locales se traduit par une chaleur de plus en plus accablante dans les habitations.

2.2. Effets des inondations sur la gestion des déchets dans la Commune de Sèmè-Podji

Les risques d'inondations dans la commune de Sèmè-Podji se manifestent sous diverses formes : inondation d'origine pluviale et fluviale. Les voies, maisons, quartiers ou villages entiers se trouvent submergés par l'eau rendant les routes impraticables, empêchant la collecte des déchets et entraînant une accumulation de détritus (planche photographique 1).



Planche photographique 1. Vues partielles de quelques maisons et voies inondées à Ekpè
***Prise de vues** : Doumatey, octobre 2024*

La planche 1 montre les manifestations de l'inondation dans les villages de l'arrondissement d'Ekpè. Les maisons sont habitées par des populations qui sont envahies par les eaux de la grande saison des pluies. Les changements dans les régimes de précipitations affectent la gestion des déchets solides et liquides. Les inondations dispersent les déchets solides et liquides. Les décharges et les installations de traitement des déchets sont endommagées par les inondations entraînant des fuites de polluants et des risques de contamination. Cela occasionne une contamination de l'environnement et une augmentation des risques pour la santé.

2.3. Effets des températures élevées sur la gestion des déchets solides et liquides

La variation des températures dans la Commune de Sèmè-Podji influence directement la gestion des déchets solides et liquides ménagers (figure 5).

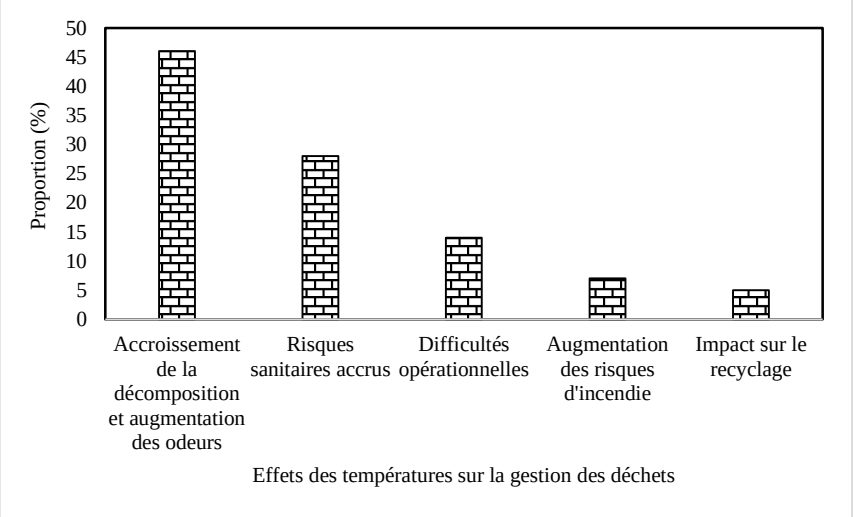


Figure 5. Effets des températures sur la gestion des déchets
Source : Traitement des données de l'enquête, octobre 2024

Il ressort de la figure 5 que l'accroissement de la décomposition et augmentation des odeurs (46 % des personnes retenues pour l'enquête), les risques sanitaires accrus (28 %), les difficultés opérationnelles (14 %), l'augmentation des risques d'incendie (7 %) et les impacts sur le recyclage (5 %) constituent les incidences des températures élevées sur la gestion des ordures ménagères. La chaleur accélère la décomposition des déchets organiques, ce qui entraîne une production accrue de gaz à effet de serre comme le méthane. Ce processus intensifie également les odeurs nauséabondes, rendant les zones de stockage et de traitement des déchets moins supportables pour les communautés avoisinantes. Les températures élevées favorisent la prolifération de bactéries, de mouches et d'autres vecteurs de maladies, augmentant ainsi les risques sanitaires pour les travailleurs de la gestion des déchets et les populations vivantes à proximité des décharges. Selon Laboratoire GTVD (2019), la chaleur extrême rend les conditions de travail difficiles pour les employés de la gestion des déchets, entraînant une fatigue accrue et des risques de coup de chaleur.

Les équipements de collecte et de traitement des déchets sont également affectés par les températures élevées, entraînant des pannes et des retards dans les opérations. Les déchets secs et inflammables, tels que le papier et le plastique, sont plus susceptibles de s'enflammer par temps chaud, ce qui augmente les risques d'incendies dans les décharges. Les températures élevées altèrent la qualité des matériaux recyclables, tels que le plastique, ce qui rend leur traitement plus difficile et moins efficace. De plus, le travail de tri des déchets par les employés est rendu plus difficile et rebutant. Selon Tamboura (2023), en période de fortes chaleurs (janvier-mars et octobre-novembre), la décomposition des déchets organiques s'accélère sous l'effet des températures élevées, ce qui favorise la prolifération des insectes, des rongeurs et des mauvaises odeurs, rendant la gestion des déchets plus complexe.

Conclusion

Les évènements climatiques extrêmes affectent la gestion des ordures ménagères. Les inondations contaminent les sources d'eau et concentrent les contaminants dans l'eau restante. Les changements de température et de précipitations affectent la distribution et l'abondance des vecteurs de maladies tels que les moustiques et les mouches. Cela entraîne une augmentation du risque de maladies à transmission vectorielle.

Bibliographie

AFFERI G. M., 2017 : *Conception et dimensionnement des ouvrages de drainage dans le bassin du gourou en Côte d'ivoire : cas du bassin versant de Angré Mahou*. Mémoire d'ingénieur en eau et assainissement, 2IE, 73 p.

ANPC, 2016 : *Politique Nationale de Prévention et de gestion intégrée des catastrophes*. Rapport d'étude, 290 p.

DANSOU B. S. et ODOULAMI L., 2017 : Enjeux environnementaux des stratégies de gestion des déchets dans la ville de Porto-Novo au sud du Bénin. *Rev. Ivoir. Sci. Technol., **30,** 138-159*

KADADJI Y. A., 2013 : *Stratégies d'adaptation paysannes aux contraintes pédo-climatiques dans la Commune d'Aplahoué*. Mémoire de maîtrise, DGAT / FLASH / UAC, 69 p.

KAMBIRE B., YMBA M. et OUATTARA S. K., 2018 : Gestion des déchets liquides et vulnérabilité des populations aux maladies: cas de Songon-Agban, district d'Abidjan. *Tropicultura* 36 (**2**), 407-416

Laboratoire GTVD, 2019 : *Projet Eau Assainissement au Togo phase 2 (PEAT2). Quantification et caractérisation du gisement des ordures ménagères dans la ville de Tsévié : ratios spécifiques de production d'ordures ménagères par habitant et par ménage*. Contrat de service n° FED/2018/397-485. 45 p.

TAMBOURA A. T., 2023 : Systèmes d'assainissement et risques sanitaires dans la ville de Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). *DaloGéo, revue scientifique spécialisée en Géographie*, **9**, 218-227.

MOROCCO'S CLIMATE FORECAST FOR 2023

Bouchaib ESSALEK[1], Hind FATTAH[2], El Houcine LAKHOUAJA[3], AISSAM BOUAICHE[4]

[1]Université Mohammed V, Faculté des sciences de l'éducation Rabat Morocco, bouchaibessalek@yahoo.fr
[2]Université Mohammed V, FLSH Rabat, Dpt. Géographie, LSTHP, h.fattah@um5r.ac.ma
[3] UHII Casablanca, FLSH Ben M'sik, (LMME) Maroc. lakhouajah@yahoo.fr
[4]UHII Casablanca, FLSH Ben M'sik, LCEAT, Maroc. bouaiche.aissam.scopus@gmail.com

Abstract: *The Moroccan climate of 2023 serves as an example of the development of the primary climate indicators in addition to extreme weather events that have had a major effect on the country's socioeconomic structure. current climate trends and draw attention to the difficulties Morocco faces as a result of climate change; Morocco has experienced its warmest year since the turn of the 20th century in 2023. Heat records were set in the summer of 2023, when temperatures regularly topped 50°C for the first time. 2023 has been the driest year in precipitation for at least 80 years, with a roughly 48% precipitation deficit. The Souss region has been particularly hard hit, setting a new national record for the highest temperature. the goal of this work is to study the evolution of some climatic indicators and their impact on extreme weather phenomena in Morocco.*

Key words: *climate, Morocco, climate indicators, climate trends*.

Résumé : *Le climat marocain en 2023 illustre l'évolution des principaux indicateurs climatiques ainsi que les phénomènes météorologiques extrêmes ayant eu un impact socio-économique significatif. Les tendances climatiques récentes mettent en évidence les défis que le changement climatique représente pour le Maroc. L'année 2023 se distingue comme la plus chaude que le Maroc ait connue depuis le début du XXe siècle. L'été 2023 a été marqué par des records de chaleur, avec des températures atteignant systématiquement 50°C pour la première fois. En matière de précipitations, 2023 a été l'année la plus sèche depuis au moins 80 ans, enregistrant un déficit d'environ 48 %. L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution de certains indicateurs climatiques et leur impact sur les phénomènes météorologiques extrêmes au Maroc.*

Mots-clés : *climat, Maroc, indicateurs climatiques, tendances climatiques.*

Introduction

Climate change is the greatest challenge facing humanity during the 21st century, due to its economic, social and environmental impacts and transformations.

The Kingdom of Morocco, by virtue of its geographical location in the subtropical latitudes, is among the countries most vulnerable and affected by climate change. Morocco's regions, especially the central and southern regions, suffer the most from the effects of climate variability and fluctuations, which, along with the socioeconomic and spatial transformations that Morocco is experiencing, has contributed to the acceleration of some natural phenomena such as drought, desertification (sand encroachment) and floods (El-Hayani Hend, et al. 2022).

This has resulted in the degradation of a number of important systems within Morocco, especially those characterized by limited natural resources, especially water resources, which are the backbone of life and the basis for the economic development of countries. In this sense, the agricultural sector is the most affected and linked to climate change, along with other diverse human activities. Due to the successive years of severe drought in various agriculturally important regions, 2023 was characterized as the warmest year in the history of monitoring in Morocco, as the summer season witnessed record temperatures exceeding 50 C° for the first time since the beginning of the 20th century (DGM, 2024).

1. Objectives

In the context of global climate variability, Morocco has generally been experiencing longer-than-usual climatic. This is evident in the statistical data recorded in recent decades,

which has greatly affected the natural environment and its resources (water, soil, forests...) and increased its vulnerability, with a sharp decrease in the amount of annual rainfall, especially during the period from the 1970s to the present, this situation affects all countries north and south of the Mediterranean to varying degrees.This paper focuses on highlighting the evolution of some climatic indicators and their impact on extreme weather events in Morocco.

2. Methodology:

Daily measurements of temperatures, precipitation, winds, and atmospheric pressures during the year 2023 were used for a set of climate stations within the Kingdom of Morocco. The data used came from the General Directorate of Meteorology in Casablanca, through a special bulletin issued in April 2024, The Crop Growth Monitoring System – Morocco (CGMS-Maroc) permit the production of daily spatial data across Morocco with a resolution of 9 km. These data grids are derived from observations collected at all DGM synoptic and automatic weather stations. (www.marocmeteo.ma/ar).

3. Results and discussion

3.1. Spatially and temporally variable rainfall in Morocco:

Rainfall in 2023 was below normal, indicating a significant deficit in annual rainfall. In areas such as Tangier and the Rif, precipitation ranged between 400 and 600 mm, which is well below the usual rates in these areas, by 15%.

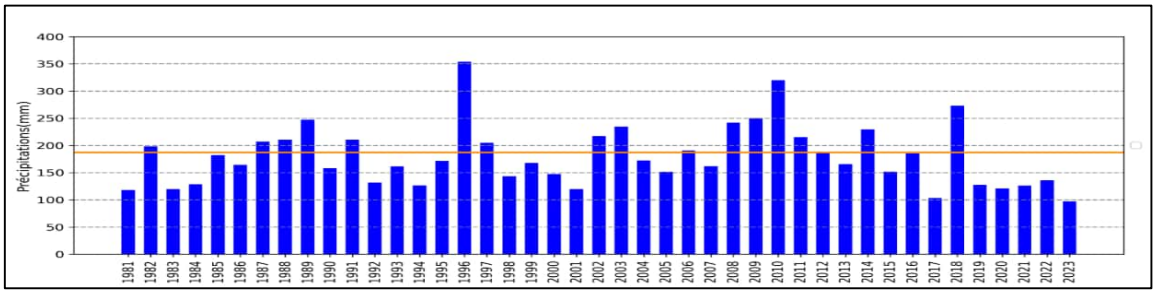


Figure 1. Total annual precipitation in millimeters between 1981 and 2023 in Morocco

Source: DGM, April 2024

Areas such as Chefchaouen and Tetouan experienced a deficit of minus 62%, with a total of 383 mm of annual precipitation, which is below the normal average of 1018 mm per year. The desert regions recorded poor precipitation totals of less than 100 mm. The vast majority of the Kingdom's stations showed rainfall totals between 100 and 400 mm, which are below normal. This reveals a trend towards dryness across the entire Kingdom, but Rashidiya station is an exception, with an estimated total rainfall of 128 mm, which exceeds the normal average of 124 mm for this station. Overall, this year recorded a rainfall deficit of about 48%, followed by 2017, which saw a rainfall deficit of about 44%. However, the last five years from 2019-2023 were the longest and most severe period of consecutive dry years (Fig1) with an average precipitation deficit of about 35% (DGM,AVRL2024).

At the local level, the annual rainfall deficit exceeded 50% in some regions of the Kingdom such as Taza, Marrakech, Essaouira and Larache. In general, all stations experienced severe precipitation deficits (Fig1) that ranged between 50 and 100% during the agricultural season (Oct-Nov-Dec 2023).

4.2. Thermal extremes:

- **Average temperature:** Rainfall levels in 2023 were significantly below average. On the peaks of the High and Middle Atlas, the values fluctuated between 8.4 and 12C°. In the Rif region, between 12 and 16C°, while the rest of the country (plains and coastal areas) between 18 and 24C°. Temperatures were particularly high in the regions of Chichaoua, Rahamna and Tangier, with a rise of more than 3 C°.

In the southern regions, the positive anomaly did not exceed 1.5 C°, while the rest of the country witnessed a significant increase in minimum temperatures, between 1 and 2.5. The Taroudant station recorded the highest rise, reaching 2.65C° this year.

- **Daily maximum temperatures**: The average annual maximum temperature was significantly higher than normal, especially in areas such as Marrakech, Beni Mellal, Agadir, Taroudant, Errachidia, Ouarzazate, Chefchaouen, Laayoune and Guelmim. The height exceeded +3.5C°, and in the rest of Morocco, the maximum temperature remained below +3C°.

Thus, 2023 is the hottest year on record, followed by 2022, and the driest year in 80 years, with a rainfall deficit of 48 %.

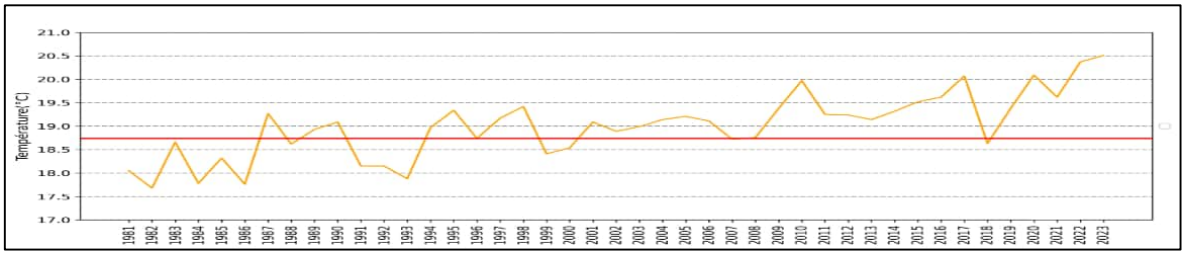


Figure 2. Average annual temperature between 1981 and 2023 in Morocco

***Source**: DGM, April 2024*

The national annual average temperature was 1.77°C above normal, the highest increase after 1981 with 1.63°C and 1.37°C for 2020. The 2023-2023 period recorded average temperatures between 20.51°C and 20.36°C (Fig 2).

The year 2023 is also a record year for average maximum temperatures at the national level, 2.5°C above average. As for the minimum temperatures, this year ranks third after 2010 and 2022, with a deviation of about 1.04°C from the average (Fig 2).

With the exception of February, all months recorded average temperatures above normal, with 4 new monthly records for average temperatures, namely March, April, August and October (Fig 2), with March exceeding normal by 2.8°C, April by 3.32°C, August by 3.01°C and October by 3.12°C.

Morocco also witnessed 270 average temperature days above average, which is 79 % of the total number of days in the year (DGM,2024).

4.3. Climate heterogeneity patterns affecting Morocco's climate in 2023:

The North Atlantic Oscillation (NAO) during the winter, the El Niño Southern Oscillation (ENSO), the warming of the Mediterranean Sea and the equatorial domain, the Atlantic Ocean and the Pacific Oscillation indirectly affect Morocco's climate.

During 2023, a significant variation in the positive North Atlantic Oscillation (NAO) (Fig3) was observed during January, February and December, resulting in drier than usual rainfall in the northwest.

Moreover, starting from June 2023, an El Niño transition was observed after the cold phase (La Niña) continued for three consecutive years, thus giving three consecutive years of drought across the Kingdom.

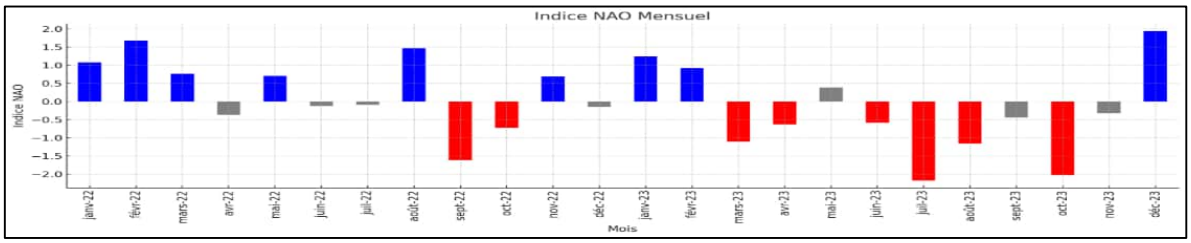


Figure 3. Monthly North Atlantic Oscillation Index between 2022 and 2023

***Source**: DGM, April 2024*

The North Atlantic Oscillation (NAO) is one of the most important patterns of climate variability in this region and has a significant impact on local and regional weather conditions. The NAO is known to cause large variations in temperature, precipitation, and winds in many parts of the world (https://www.climate.gov/).

The El Niño Southern Oscillation (ENSO) is a large-scale, recurring oceanic phenomenon in the equatorial Pacific that affects sea temperature, precipitation, and wind patterns. The ENSO cycle ranges from 2 to 7 years and is characterized by three phases, a warm phase (El Niño), a cold phase (La Niña) and a neutral phase (DGM, avril 2024, p19).

Many scientific studies have shown that the NAO exerts a significant and direct influence on rainfall activity, in the winter season on Northwest Africa, especially Morocco. The increase in winter rainfall is associated with the negative phase of the NAO (Fig4), and conversely, the decrease in total winter rainfall is associated with the positive phase (https://www.climate.gov/search?query=NAO).

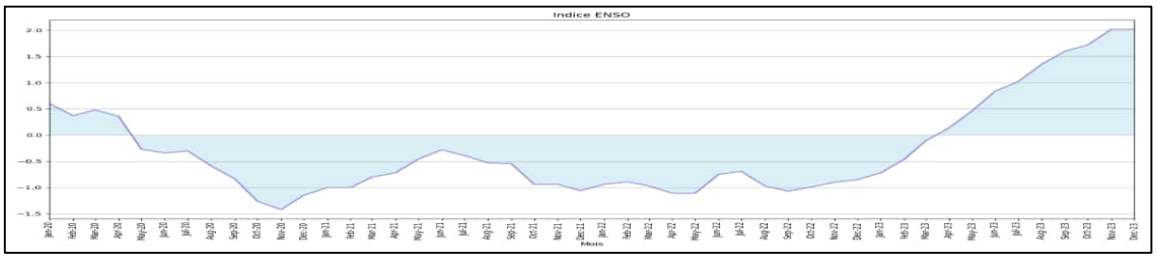


Figure 4. Evolution of monthly values of the El Niño index between Morocco 2020 and 2023.

***Source**: DGM, April 2024*

Moreover, although the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon affects the climate of several parts of the world, especially the tropical regions, the latest scientific research and publications confirm that the impact of ENSO on Morocco's climate is neither direct nor constant; in fact, the ENSO effect is different every decade or several decades within the Pacific and Atlantic oceans (https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso).

4.4. Extreme climate events for the year 2023

During this year, Morocco recorded 26 extreme weather events, some of which caused fairly serious damage. Severe thunderstorms (35%), heat waves (30%), snowfall (19%), and strong winds (16%). The summer season also set several absolute records for daily maximum temperature, breaking all records of previous years (DGM, AVRIL,2024 P20).

- **Heavy snowfall in the Ouarzazate region**: Between February 14 and 19, 2023, Morocco witnessed a turbulent weather situation, in the form of rain showers and snowfall in the highlands. The reason for this turbulence is due to the fact that during this period, an air depression of northern origin was centered near the Canary Islands, directing a very wet flow that caused heavy rainfall in the High and Low Atlas Mountains. As for the second case, the height of the snow between February 16 and 18, 2023 reached two meters, especially in the Tidili region (Ouarzazate region) and 80 and 30 centimeters in the highlands of Al-Houz, Azilal, Beni Mellal, Chichaoua, Midelt, Tinghir and Taroudant.

Snowfall in this area of the Kingdom is an unusual event, considering that it is a semi-desert region with an arid climate, where oasis areas predominate. Rainfall is one of the weakest values that can be recorded during the rainy year (80 mm/year), this exceptional event has been repeated several times in the last ten years, which may have climatic readings in the coming decades.

- Temperatures in Souss exceeded 50 degrees: On August 11, 2023, the threshold of 50 C° was recorded in the Souss region, with Agadir city recording 50.4 as the maximum daily thermal value on that day. Due to the localization of the TALWEG Saharan low, it was reflected by relatively high values (1010 and 1012 hectopascals), in addition to relatively strong easterly winds, compared to the previous day and the next day with the influence of the Fouhn winds on the Anti-Atlas Mountains.

This phenomenon is unfamiliar in the history of monitoring in Morocco, especially in the area overlooking the Atlantic Ocean, which set a record in the city of Agadir, considering that the maximum recorded temperature is 48.5 degrees Celsius, which dates back to 2009 in the capital of Souss, Agadir.

What was not expected was the recording of such a high thermal value, 50.4 C°, which is an indication that the temperature can actually rise to this amount in Morocco, which is related to frequent natural developments combined with cumulative human developments, a special situation experienced by most countries of the northern hemisphere this year and sometimes overlapping natural disasters (Mohamed Said karouk, August 14, 2023).

Morocco's location, on its southern and eastern borders, surrounded by the Sahara Desert, means that all the phenomena of the latter can reach us, especially if they are combined with our local climatic data, and can result in other complex phenomena, and thus Saharan climate phenomena can go beyond their usual geographical ranges (Mohamed Said Karouk, August 14, 2023). The local topographic features, especially in the Souss region, which is located at the foot of the Anti-Atlas, play an important role, making it a barrier to the eastern winds coming from the east and southeast.

The local heat, in addition to the air masses that reached the coastal city of Agadir, made the concept of the coast secondary, because the winds come from the east and not from the west, which made the weather drier, supported by the fragility of the region's soil and sand whirlwinds.

- Forest fires: During this year, Morocco witnessed forest fires that significantly affected different regions, with a total of 255.54 hectares affected by fires (ANEF - Maroc), Tangier Tetouan Al Hoceima region with 1620.73 hectares, Souss Massa 1054.9, Fes Meknes 1028.49, and 790 hectares in Taza municipality. The area of affected areas reached 6425.71 hectares.

These climatic hazards that Morocco was exposed to this year are considered an unusual event in all respects, considering the diversity of these climatic phenomena and their consequences (heat, forest fires, strong winds, snowfalls...). And also, by the vastness of the

areas covered by the Moroccan territory. This is in addition to the climatic and hydrological exceptionalism that characterized a number of regions, especially those that experienced snowfalls (Ouarzazate, for example) or high temperatures (Souss, for example).

5. Conclusion and Recommendations

The frequency and increasing severity of heat and rainfall extremes during the summer season reinforces the question of climate change in most Moroccan regions, which calls for the inclusion of the environmental dimension in development programs for arid regions, especially as they host diverse systems and fragile oases.

It is certain that the increase in temperature and the relative decline in precipitation will be greater in the coming years compared to recent years, which witnessed frequent heat waves and droughts, and the irregularity and variability of precipitation from year to year may lead to severe droughts that would cause serious damage to agriculture. In this scenario, surface water is expected to decline at a rapid pace, the irrigation water bill will increase, and the exploitation of water resources in fertile areas will intensify, turning them into a fragile agricultural field threatened by several dangers, primarily desertification.

The effects of climate change, both perceived and expected, are forcing all political and socio-economic actors to develop strategies and adaptation plans to confront them. As a result of the increase in greenhouse gas emissions, global warming has become a global issue that requires an international contribution. There are still opportunities for humans to slow down the speed of this climate change, by reducing threats and by directing the economy in a coordinated and holistic approach that takes into account the dimension of sustainable development.

References

Essalek B, 2021 : Etude des tendances pluviométriques récentes dans la plaine de chaouia (Maroc). flash Dhar El Mahraz par le Laboratoire Territoire Patrimoine Histoire. Fès Maroc, 449 pages.

Maroc Etat du Climat, 2023 : Direction Générale de la Météorologie, Ministère de l'équipement et de l'Eau, Royaume du Maroc, Edition avril 2024.Casablanca Maroc, 36 pages.

https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso (consulté le 10/06/2025)

https://www.climate.gov/search?query=NAO (consulté le 10/06/2025)

http://www.eauxetforets.gov.ma/SitePages/Index.aspx (consulté le 10/06/2025)

https://www.hespress.com/%D9%85%D9%88%D8%AC%D8%A9%D8%A7%D9%84%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D9%84%D8%B4%D8%AF%D9%8A%D8%AF%D8%A9%D8%AA%D9%81%D8%B3%D9%8A%D8%B1%D8%A7%D8%AA%D8%B9%D9%84%D9%85%D9%8A%D8%A9-%D9%88%D8%AA%D8%AD%D8%B0%D9%8A-1216066.html (consulté le 14/08/2025)

CONSEQUENCES DES INONDATIONS DE 2021 A 2023 DANS LA COMMUNE DE COCODY (CÔTE D'IVOIRE), AIC 2025

Françoise D'Avila GOUADOU[1], Malan Ketcha Armand KABLAN[2], Kouassi DONGO[3]
[1]*Laboratoire d'Hydrogéologie, Ecole Doctorale Sciences Technologies et Agriculture Durable (ED-STAD) Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, faviladelrey@gmail.com ;*
[2]*Laboratoire des Sciences du Sol, de l'Eau et des Géomatériaux (LSSEG), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, kablan.malan@yahoo.fr ;*
[3]*Laboratoire d'Hydrogéologie, Ecole Doctorale Sciences Technologies et Agriculture Durable (ED-STAD), Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, kdongo8@gmail.com.*

***Résumé** : Le phénomène d'inondation demeure un véritable problème pour la survie des êtres vivants dans le monde. Il cause de nombreux dommages dans les grandes agglomérations d'Afrique sub-saharienne comme Abidjan en Côte d'Ivoire. La présente étude vise à évaluer les conséquences des inondations qui résultent des épisodes pluvieux entre 2021 et 2023. Une approche méthodologique intégrée a été adoptée dans cette recherche. Elle a combiné des données collectées sur le terrain et des interviews. Le traitement des données a inclus des statistiques descriptives. Les résultats ont permis de catégoriser les différents types de dommages et de connaître leurs périodes de survenue. Les résultats de cette étude serviront d'outils d'aide à décision aux autorités pour une meilleure gestion des inondations et la protection des biens et des populations.*
***Mots-Clés** : Pluviométrie, Inondation, Dommage, Cocody*
***Abstract: The Consequences of flooding from 2021 to 2023 in the commune of Cocody (Ivory Coast).** Flooding remains a real problem for the survival of living beings around the world. It causes a great deal of damage in the large conurbations of sub-Saharan Africa, such as Abidjan in Côte d'Ivoire. The aim of this study is to identify rainfall events between 2021 and 2023, and assess the consequences of the resulting flooding. An integrated methodological approach was adopted in this research. It combined data collected in the field with interviews. Data processing included descriptive statistics. The results made it possible to categorise the different types of damage and to identify the periods in which they occur. The results of this study will serve as a decision-making tool for the authorities to improve flood management and protect property and people.*
***Keywords :** Rainfall, Flooding, Damage, Cocody*

Introduction

Le monde connait une recrudescence des catastrophes naturelles causant de nombreuses pertes en vies humaines et d'importants dégâts matériels. Le continent africain quant à lui, a enregistré pour la seule année de 2007, 4,6 millions de personnes affectées par les inondations qui surviennent généralement pendant les saisons de pluies (Scheuren et al., 2007).

Le phénomène d'inondation demeure un véritable problème pour la survie de l'espèce humaine et les écosystèmes dans le monde. Cela s'explique par les dommages causés lors de son avènement dans les grandes agglomérations d'Afrique sub-saharienne comme Abidjan en Côte d'Ivoire. En effet, les impacts des inondations en termes de dommages et de pertes en vies humaines sont plus importants dans les pays en voie de développement du fait d'une vulnérabilité humaine et économique plus élevée (Tanguy, 2012 in Yeo, 2017). De ce fait, La présente étude vise à mettre en évidence les épisodes pluviométriques de 2021 à 2023, dans la zone urbaine de Cocody et les dommages des inondations qui en résultent.

1. Zone d'étude

La Commune de Cocody est l'une des Communes du District d'Abidjan (capitale économique de la Côte d'Ivoire). Elle est située au Nord-Est d'Abidjan entre les latitudes 5° 19' et 5°27' N et les longitudes 3°54' et 4°1' O (Kablan, 2017). Elle a une superficie de 144,59 km2 (20,8% de la surface totale d'Abidjan). Elle est délimitée dans sa partie nord par la Commune d'Abobo, dans sa partie sud par la lagune Ebrié, dans sa partie est par la Commune de Bingerville et dans sa partie ouest par la Commune d'Adjamé. Elle se situe sur deux bassins versants: le Bassin versant du GOUROU qui prend en compte le quartier "Deux Plateaux" et le Bassin versant Bonoumin-Palmeraie (Coulibaly et al., 2014), (cf. Figure 1).

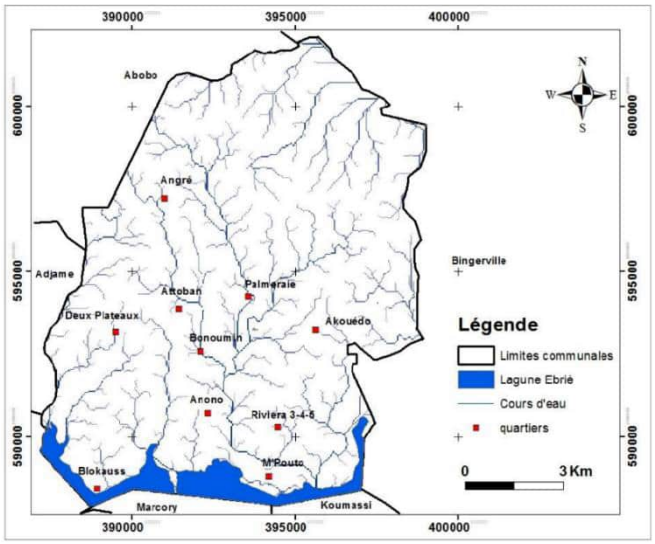


Figure 1. Carte du réseau hydrographique de la commune de Cocody (Kablan, 2017)

2. Méthodologie

2.1. Matériels

Le matériel utilisé pour cette étude est composé de :

- Deux dispositifs que l'on a installés dans la zone d'étude, chacun d'eux est muni d'un pluviomètre et d'un cadrant permettant de suivre l'évolution des données de température et de pluviométrie ;

- Plusieurs fiches issues des archives de l'Office National de la Protection Civile de Côte d'Ivoire (ONPC) (Rapport ONPC, 2022), comportant les données de dommages causés par les inondations en Côte d'ivoire. Ces fiches ont pu être obtenues suite à une rencontre meublée d'échange avec les agents de l'ONPC. Ces données s'étendent de 1996 à nos jours. A partir de ces fiches nous avons pu extraire les données concernant la commune de Cocody.

2.2. Méthode

Les deux dispositifs à pluviomètre ont été installés respectivement sur deux sites représentatifs de la zone d'étude. L'un a été installé le site du CMR (Communauté Musulmane Résidente) situé en amont du bassin versant Bonoumin-Palmeraie et le site de la paroisse Sainte Famille situé à la Riviera 2, en aval du bassin versant Bonoumin-Palmeraie.

Ainsi l'on a pu collecter les données de pluviométrie et de température de notre zone d'étude.

Après l'obtention des données concernant les dommages liés aux inondations, l'on a procédé à leur classification en trois catégories, sociale, environnementale et économique. Notons que l'on a pu obtenir des données datant de 1996 à 2022. Celles de 2023 ont été extraites d'un article d'une Agence de presse (https://www.aa.com.tr) portant sur les inondations en Côte d'Ivoire en 2023. Les données des années avant et après 2022 comportent moins de détails par rapport à celles de 2022. De ce fait, l'on a fait une analyse statistique de ces données, afin de connaitre l'impact de plus prépondérant dans chacune des catégories énoncées.

Pour une bonne estimation des dommages économique, l'on a utilisé les données de l'ONPC (Office National de la Protection Civile) et nous y avons appliqué la méthode d'inondabilité GILARD (1998) en l'adaptant aux réalités de notre zone d'étude, car cette

méthode permet de mieux comprendre les estimations par le calcul automatique du risque d'inondation, selon Sassi (2010).

Il s'agit d'une approche analytique et quantitative d'évaluation des dommages. De ce fait, nous n'intégrons pas dans ce calcul, la vulnérabilité sociale ou humaine.

D'abord, nous allons estimer le risque sous la forme de "coût moyen annuel (CMA) des dommages", calculé comme l'espérance mathématique des dommages, TORTEROTOT (1993). L'équation est la suivante :

$$CMA = E = \int_0^{+\infty} C.f\,(c).d(c)$$

Avec, C : le coût des dommages,

h : la hauteur d'eau,

q : le débit du cours d'eau pour la cote z correspondant à la hauteur h.

Or C = fonction (h) et h = fonction (q)

$$= \quad CMA = \int_0^{+\infty} C\big(h(q)\big).f(q).d(q)$$

Avec, C : le coût des dommages pour une hauteur d'eau h donnée,

$h\,(q)$: la hauteur d'eau en fonction du débit,

$f_q\,(q)$: la densité de probabilité de la variable q.

Avant d'effectuer ce calcul, l'on doit connaître le coût des entités endommagées, lors des épisodes d'inondations :

- Véhicule
- Habitation
- Infrastructure routière
- Installation électrique
- Système d'assainissement (Caniveaux)
- Immeuble.

3. Résultats

Les données de pluviométrie collectées de l'année 2021 à l'année 2023, ont permis d'obtenir les résultats suivants (cf. Figure 3). Les histogrammes représentés à la figure 3, permettent d'observer dans l'ensemble, une diminution de l'intensité des pluies de 2021 à 2023. Aussi deux saisons des pluies sont observées, l'une allant du mois de mars à mai et l'autre de juin à Octobre. Ces saisons sont restées les mêmes au fil des années.

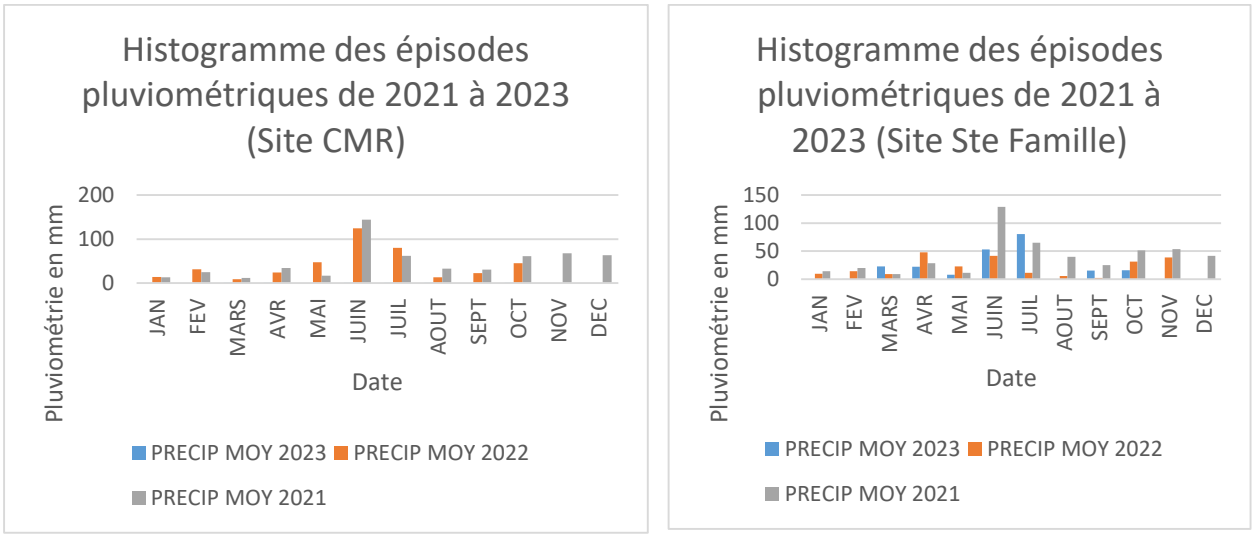


Figure 3. Histogrammes des épisodes pluviométriques sur deux sites représentatifs de la zone d'étude

Au vu des données collectées auprès de l'Office National de la Protection Civile de Côte d'Ivoire (ONPC), les dommages engendrés par les inondations ont été classés en trois grandes catégories qui sont les dommages environnementaux (effondrement, glissement de terrain, inondation de voirie et inondation d'habitations), les dommages sociaux (décès, blessés, familles sinistrés et accident de circulation), et les dommages économiques (les infrastructures détruites tels que les routes, les immeubles, les poteaux électriques, etc, et les pertes de biens matériels).

En 2021, d'importants dommages environnementaux et les dommages économiques ont été enregistrés d'après le rapport de l'ONPC, entre autres Plusieurs dégât matériels, des voies impraticables et des effondrements d'immeubles. En 2022, plusieurs dommages ont été relevés, 43 % de ces dommages étaient des dommages environnementaux, 36 % étaient des dommages sociaux et 21% étaient des dommages économiques. En 2023, seulement 2 cas de décès (dommages sociaux) ont été observés. Les dommages environnementaux et économiques n'ont pas été quantifiés.

En faisant concorder les données de pluviométries et de dommages, nous avons remarqué que les différents dommages ont été observés lors des saisons pluvieuses. A la suite des calculs effectués, l'on a pu obtenir le tableau suivant, mettant en évidence l'aspect économique des dommages causés par les inondations (voir Tableau 2):

Tableau 1. Récapitulatif des coûts des dommages

ENTITE ENDOMMAGEE	NOMBRE D'ENTITE ENDOMMAGEE	COÛT UNITAIRE	COÛT TOTAL
Véhicule	5	10 000 000	50 000 000
Autre habitation	10	200 000 000	2 000 000 000
Immeuble	3	4 000 000 000	12 000 000 000
Infrastructures routières	Plusieurs	3 800 000 000	3 800 000 000
Infrastructure Sanitaire	1	62 000 000 000	62 000 000 000
Système d'assainissement (Caniveaux)	1	155 000 000 000	155 000 000 000

Installation électrique	1	131 330	131 330
Autres biens matériels	Plusieurs	---	
CMA			234 850 131 330

Le Coût moyen annuel (CMA) des dommages est estimé à environ 234 850 131 330 FCFA de dommages.

4. Discussion

Selon APA (2014), les pluies diluviennes de 2013 avaient causées de nombreux dégâts matériels et des pertes en vies humaines à Cocody. Les observations faites de 2021 à 2023, montrent que cette situation de catastrophe observée il y a plus de (10) dix ans, persiste. En 2022, les dommages environnementaux sont les principaux dommages observés avec une prévalence de 43 %, lors des inondations. On y observe majoritairement des habitations inondées et des voies impraticables. Les dommages sociaux, représentent le second type de dommages relevés avec une prévalence de 36 % enregistrée, avec un taux élevé de familles affectées par les inondations et plusieurs décès enregistrés. Les dommages économiques quant à eux représentent 21 % des dommages observés. Ce sont principalement des pertes de biens matériels, mais aussi des voies et des infrastructures détruites affectant ainsi le domaine du transport, les entrepreneurs et les travailleurs du secteur informel. Tous ces dommages sont observés pendant les épisodes de fortes pluies.

Ces résultats étayent par l'affirmation de qui Abhas et al (2012) a dit que les inondations urbaines représentent un obstacle au développement et un risque pour les populations particulièrement ceux qui vivent dans des villes à expansion rapide, dans les pays en développement.

Conclusion

Au terme de cette étude, l'on peut dire que la pluviométrie joue un rôle important dans l'avènement des inondations. Cependant, il y a d'autres facteurs qui favorisent ce phénomène, causant ainsi de nombreux dommages.

Les résultats obtenus ont permis de catégoriser les différents types de dommages observés et de connaître les périodes de survenue des inondations. Les résultats de cette étude peuvent servir d'outils d'aide à décision pour élaborer des mesures d'atténuation des inondations et des stratégies de gestion plus efficaces pour protéger les populations de Cocody contre ce phénomène.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers le Professeur Kouassi DONGO, Directeur de l'Ecole Doctorale Sciences Technologie et Agriculture Durable, pour nous avoir permis de mener à bien cette étude. Nous remercions Docteur Kablan pour l'aide précieuse dont il a fait preuve durant cette étude. Nous tenons à remercier les agents de l'ONPC pour leur coopération lors de l'entretien que nous avons effectué dans leurs locaux et pour la mise à disposition des données dont ils disposent.

Bibliographie

Abhas, K.J., Robin B.,Jessica L. (2012) : Cities and Flooding : A Guide to integrated urban flood risk management for the 21st Century, 631p.

APA. (2014). Côte d'Ivoire: au moins quatre morts dans un éboulement, Agence Africaine de Presse, 5 juin 2014.

COULIBALY T.J.H., COULIBALY, N., KOFFI, D., Camara, M. and SAVANE, I. (2014) Cartographie des zones à l'origine de l'ensablement des canaux du bassin du GOUROU (Abidjan-Côte d'Ivoire). International Journal of Innovation and Applied Studies, 6, 642-653

GILARD O. (1998), Les bases techniques de la méthode Inondabilité, Cemagref Editions, France.

Kablan M.K.A. (2017). Vulnérabilité et adaptation des populations urbaines aux effets des variations climatiques (température et pluviométrie) : analyse de la situation dans la commune de Cocody, Abidjan, côte d'ivoire. Thèse de doctorat, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan. 242 p.

RAPPORT ONPC (2022). POINT DE SITUATION : Relatif à la montée des eaux et de glissement de terrain causés par les pluies diluviennes au titre de l'année 2022, 30p.

Sassi M. : La modélisation statistical risque d'inondation en région PACA : une analyse économique et technique, Revue d'économie régionale et urbaine, 2010/5 décembre, Pages 836 à 854

Scheuren, J.-M., le Polain de Waroux, O., Below, R., Guha-Sapir, D. et Ponserre, S. 2007. Annual disaster review: the numbers and trends 2007Bruxelles, Belgique, Centre de recherche sur l'épidémiologie des désastres (CRED).

TORTEROTOT J.-P., 1993, *Le coût des dommages dus aux inondations : Estimation et analyse des incertitudes*, Thèse de doctorat, spécialité Sciences et Techniques de l'Environnement, Paris

Yeo D. (2017). Phénomène d'inondation à Abidjan : Analyse de quelques traits caractéristiques dans la commune de Cocody, Mémoire en Sciences de la Terre, Univ. Abidjan, 64p.

Https://www.aa.com.tr

LES PROJETS SCOLAIRES ECORESPONSABLES : OUTILS D'EDUCATION ENVIRONNEMENTALE PARTICIPATIVE POUR LA PRESERVATION DU CLIMAT AU BENIN

Florentine Adjouavi HOUEDENOU,
LAPEDIH, Université d'Abomey-Calavi, houedenou1@gmail.com

Résumé : *Cette recherche analyse l'utilité des projets scolaires écoresponsables comme outils d'éducation environnementale participative à Abomey-Calavi. Elle cible élèves, enseignants, parents d'élèves et responsables d'ONG environnementales. Une approche descriptive et analytique a été adoptée avec un échantillonnage aléatoire simple. Les données proviennent de 50 apprenants, 15 enseignants, 10 parents du CEG1 Abomey-Calavi et de 3 ONG. Les analyses croisent statistiques descriptives et analyses thématiques. Les résultats révèlent que 78 % des apprenants ont participé à des activités écoresponsables et 64 % ont renforcé leur compréhension des enjeux climatiques. Pour 82 % des enseignants, ces projets suscitent un engagement actif et 73 % y voient un renforcement du sens de responsabilité écologique. De même, les parents constatent à 60 % des changements de comportements malgré une faible information (40 %). Le directeur et son staff du CEG1 soulignent leur impact positif sur la cohésion scolaire. Les ONG saluent également ces initiatives comme de réels leviers d'action d'éducation pour le développement des attitudes de citoyens, agents écoresponsables.*

Mots clés : projets scolaires écoresponsables, éducation environnementale participative, comportements écocitoyens.

Abstract: Eco-responsible school projects: participatory environmental education tools for climate preservation in Benin. *This research analyzes the usefulness of ecoresponsible school projects as tools for participatory environmental education in Abomey-Calavi. It targets students, teachers, parents and leaders of environmental NGOs. A descriptive and analytical approach was adopted, with simple random sampling. Data came from 50 learners, 15 teachers and 10 parents from CEG1 Abomey-Calavi and 3 NGOs. Analyses combined descriptive statistics and thematic analysis. The results show that 78% of learners took part in eco-responsible activities, and 64% increased their understanding of climate issues. For 82% of teachers, these projects generated active involvement, and 73% saw them as reinforcing a sense of ecological responsibility. Similarly, 60% of parents report changes in behavior, despite the low level of information (40%). The principal and his staff at CEG1 emphasize their positive impact on school cohesion. ONG also hail these initiatives as real educational levers for the development of attitudes as eco-responsible citizens and agents.*

Key words: *ecoresponsible school projects, participatory environmental education, eco-citizen behavior.*

Introduction

Dans un contexte mondial marqué par l'aggravation des crises climatiques, l'éducation se présente comme un levier fondamental de transformation sociale. Elle ne peut rester en marge des défis environnementaux qui conditionnent la survie de la planète et l'avenir des jeunes générations (Leff, 2006). Ainsi, les projets scolaires écoresponsables émergent comme des outils pédagogiques innovants favorisant la participation active des élèves à la préservation du climat. Plus qu'une simple transmission de savoirs, l'éducation environnementale suppose une pédagogie critique, contextualisée et orientée vers l'action. Sauvé (2005) insiste sur la nécessité de faire de l'école un espace écosocial de transformation, tandis que Gough (2002) plaide pour une approche adaptée aux réalités culturelles et environnementales locales.

Dans les contextes africains marqués par la vulnérabilité climatique et les inégalités sociales, les projets scolaires écoresponsables permettent de mobiliser divers acteurs : élèves, enseignants, parents et ONG autour de pratiques durables et citoyennes. Selon O'Donoghue et Lotz-Sisitka (2006), l'apprentissage par l'action favorise une appropriation concrète des enjeux écologiques. En contribuant à la construction de savoirs partagés et à l'engagement communautaire, les projets écoresponsables transforment l'école en creuset de formation de citoyens écologiquement responsables et capables de répondre aux mutations contemporaines. Dans cette optique, les politiques d'éducation ne peuvent ignorer les problèmes

environnementaux. Ces derniers imposent de nouvelles visions du monde nécessaire pour le devenir de l'humanité et l'avenir des jeunes générations. Alors, étant donné que la finalité de l'éducation consiste en la transformation de la société, la formation responsable de l'individu et son épanouissement plénier, il importe de conduire l'apprenant à devenir un sujet-agent écoresponsable.

Or, notre contexte culturel change rapidement. Dès lors, le changement de mentalité s'impose pour relever les défis contemporains. En effet, l'éducation a le premier rôle dans le changement et la transformation des mentalités. Elle constitue le principal outil dont nous disposons pour amener les populations à prendre conscience d'établir des systèmes écologiques solides favorables à l'harmonie entre les êtres vivants et le bien-être de tous. Dans cette perspective, Leff (2006) insiste sur la nécessité de construire un rapport éthique et critique à l'environnement, au-delà des logiques purement techniciennes. Ceci conduirait les acteurs actuels et autres à adopter des attitudes et comportements qui permettront de vivre dans de meilleures situations et conditions de vie. Alors, comment faire pour qu'à l'école et à tous les niveaux, apprenants, enseignants ou professeurs, éducateurs-formateurs, parents, responsables d'ONG, chef de cuisine apprennent à s'adapter aux changements environnementaux pour devenir des citoyens agents écoresponsables ? L'apprenant, un agent social en devenir doit s'investir à être une personne libre et autonome, capable de contrôler ce qu'il pense et de prendre des décisions en fonction des changements. Tout ceci permet d'aborder une démarche méthodologique.

2. Approche méthodologique

La présente recherche a mobilisé deux outils principaux de collecte de données : des questionnaires et des guides d'entretien semi-directifs. Les questionnaires ont été administrés à 50 apprenants, 15 enseignants et 10 parents d'élèves du CEG1 Abomey-Calavi. Les entretiens ont été conduits auprès de trois responsables d'ONG environnementales : ACED, EHS et JVE Bénin. Ces instruments ont permis de recueillir à la fois des données quantitatives et qualitatives sur les perceptions, les pratiques et les effets des projets scolaires écoresponsables.

La démarche adoptée est de nature descriptive et analytique. Un échantillonnage probabiliste aléatoire simple a été retenu pour sélectionner les participants. Les données quantitatives ont été traitées par analyse statistique descriptive afin de dégager des tendances générales. Quant aux données qualitatives issues des entretiens, elles ont fait l'objet d'une analyse de contenu thématique permettant d'identifier les représentations et discours dominants autour des projets écoresponsables.

3. Résultats et stratégies d'actions éducatives

Cette partie présente les résultats et leur analyse y compris quelques stratégies éducatives. Elle prend en compte les données recueillies par rapports aux apprenants, enseignants, responsables d'ONG et le directeur du collège et son staff.

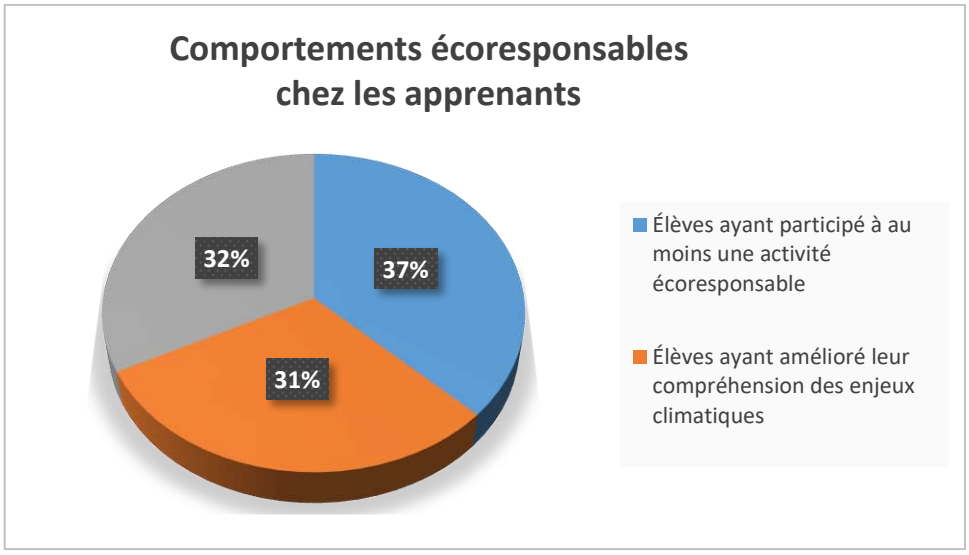


Figure 1 : Taux de participation et d'appropriation des comportements écoresponsables chez les élèves
Source : réalisé par Houédénou Florentine, mars 2025

Les données révèlent une implication notable des apprenants dans les projets scolaires écoresponsables. En effet, 78 % d'entre eux déclarent avoir pris part à au moins une activité environnementale telle que le tri des déchets, la plantation d'arbres ou l'assainissement. Ce niveau de participation suggère que les projets mis en œuvre au CEG1 Abomey-Calavi rencontrent une réelle motivation chez les apprenants. Par ailleurs, 64 % des élèves affirment avoir amélioré leur compréhension des enjeux climatiques grâce à ces projets, ce qui souligne la valeur pédagogique de l'éducation environnementale participative, en lien avec les objectifs de sensibilisation et de transformation des mentalités. Enfin, 68 % des élèves indiquent avoir adopté des comportements écoresponsables au quotidien. Ce chiffre témoigne d'un impact comportemental tangible, ce qui corrobore l'idée que les activités concrètes, contextualisées et collectives favorisent une internalisation des valeurs écologiques. En somme, les projets écoresponsables jouent un rôle formateur réel dans le développement de la conscience écologique des apprenants et leur engagement actif dans la vie scolaire et communautaire.

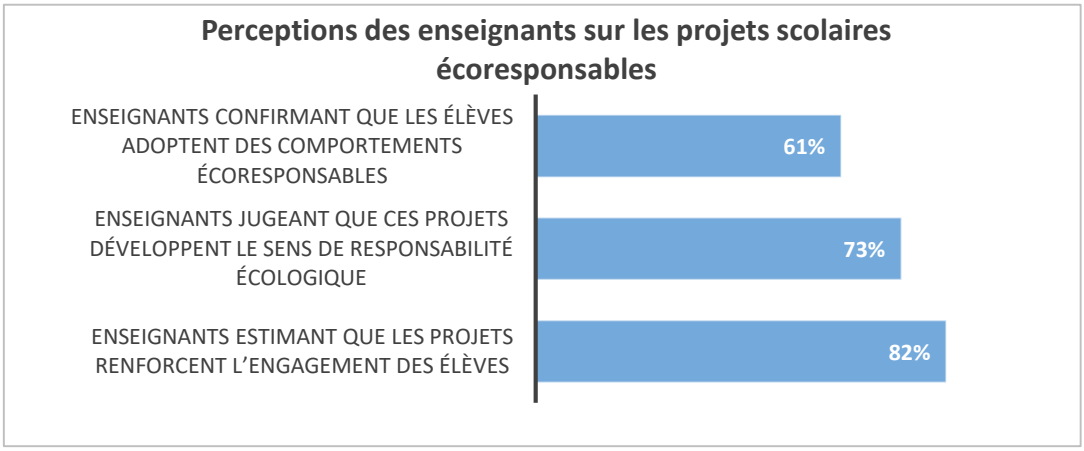


Figure 2 : Perceptions et constats des enseignants sur les projets scolaires écoresponsables
Source : réalisé par Houédénou Florentine, mars 2025

Les données issues des enseignants montrent une perception globalement positive des projets écoresponsables mis en œuvre dans le cadre scolaire. En effet, 82 % des enseignants déclarent que ces initiatives renforcent l'engagement actif des élèves dans les activités pédagogiques à caractère environnemental. Cela souligne l'efficacité de ces projets comme

leviers d'implication dans les activités scolaires. En outre, 73 % des enseignants considèrent que ces projets favorisent chez les apprenants le développement d'un sens accru de la responsabilité écologique, indiquant une transformation progressive des mentalités vers un comportement plus durable. Enfin, 61 % d'entre eux confirment que les apprenants expriment cet engagement en pratiques écoresponsables au quotidien, ce qui témoigne de l'impact comportemental des activités pédagogiques. Notons que ces résultats, bien qu'encourageants montrent aussi qu'un peu plus d'un tiers des enseignants n'observent pas encore de changements visibles chez les élèves, ce qui pourrait suggérer la nécessité d'un renforcement ou d'un meilleur accompagnement pédagogique des projets écoresponsables en milieu scolaire. A cela s'ajoute la perception des parents par rapport aux projets scolaires écoresponsables suivant la figure 3.

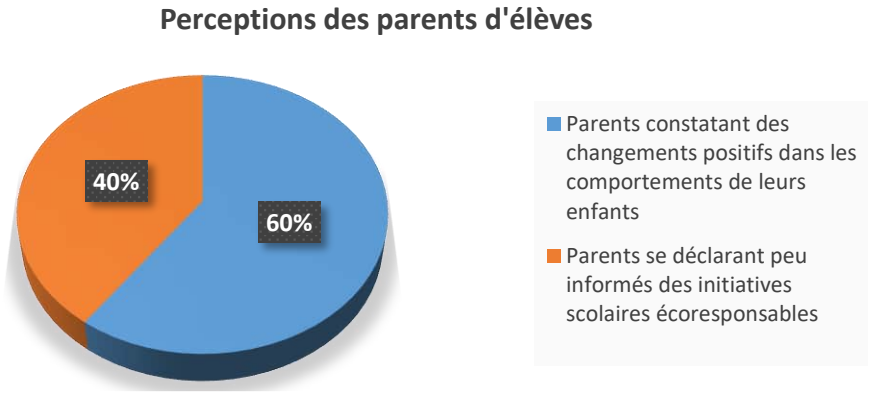


Figure 3 : Perception des parents d'élèves face aux projets scolaires écoresponsables
Source : réalisé par Houédénou Florentine, mars 2025

La figure ci-dessus met en évidence deux tendances majeures dans la perception des parents d'apprenants du CEG1 Abomey-Calavi vis-à-vis des projets scolaires écoresponsables :**Effets positifs perçus (60 %) :** une majorité de parents reconnaissent que ces projets ont eu un impact favorable sur les comportements environnementaux de leurs enfants. Cela montre que l'école joue un rôle effectif dans la transmission des valeurs écocitoyennes jusque dans le milieu familial, preuve d'une certaine appropriation des pratiques écoresponsables par les élèves.

Manque d'information (40 %) : ce chiffre révèle un déficit de communication ou d'implication directe des parents dans les initiatives écologiques de l'établissement. Il met en lumière la nécessité de renforcer les stratégies d'information et de sensibilisation en direction des familles pour favoriser une synergie école-famille autour de l'éducation environnementale.

Soulignons que l'ensemble de ces résultats montre l'impact positif des projets écoresponsables tant chez les apprenants que les parents qui en perçoivent l'utilité. Toutefois, pour garantir une continuité éducative et élargir l'impact écologique à l'échelle communautaire, une meilleure intégration des parents à ces projets reste un enjeu clé.

Tableau 1 : Appréciation des projets scolaires écoresponsables par les responsables d'ONG

ONG enquêtée	Appréciation globale des projets	Observations spécifiques
ACED	Positive	Souligne le potentiel éducatif des projets pour le changement comportemental.
EHS	Très favorable	Insiste sur l'importance d'une structuration formelle dans les écoles.

ONG enquêtée	Appréciation globale des projets	Observations spécifiques
JVE Bénin	Encourageante	Met en avant la nécessité de partenariats école-ONG pour renforcer l'impact.
Constat commun	Projets pertinents mais peu répandus	Estiment que seulement 30 à 40 % des établissements intègrent ces projets de manière structurée.

Source : réalisé par Houédénou Florentine, mars 2025

Dans cette ligne, les trois ONG consultées - ACED, EHS et JVE Bénin - partagent une vision largement positive des projets scolaires écoresponsables. Elles reconnaissent leur capacité à promouvoir une éducation environnementale active et à induire des changements de comportements chez les jeunes. Toutefois, elles s'accordent sur un point critique : la faible intégration institutionnelle de ces initiatives. Le pourcentage estimé (30 à 40 %) d'établissements les mettant en œuvre de façon structurée témoigne d'un manque de systématisation et de soutien à grande échelle. Soulignons que l'ONG EHS insiste sur la nécessité d'un cadrage formel dans les curricula scolaires, tandis que JVE Bénin plaide pour un renforcement des synergies entre écoles et ONG. ACED, quant à elle, insiste sur la fonction de conscientisation citoyenne. Cette convergence analytique montre que, bien que prometteurs, ces projets nécessitent une politique éducative plus volontariste pour toucher l'ensemble du système éducatif à Abomey-Calavi. En outre, l'analyse des données révèle que les jeunes générations manquent de prise de conscience de la biodiversité. Les divers faits recueillis chez les responsables d'ONG témoignent de l'ignorance des populations de non-gestion des déchets ou d'ordures de toutes sortes jetées partout sur les espaces même dans l'enceinte des écoles malgré la présence de quelques poubelles. De plus, il ressort des résultats d'enquête qu'il y a des problèmes de non-respect des lois de la nature, des plantations d'arbres négligés et des manques de jardins dans plusieurs zones et maisons. Il urge de tous ces constats que l'heure a sonné le glas d'œuvrer réellement pour l'éducation à l'environnement en vue d'une meilleure santé des populations et de l'environnement. Car l'environnement malpropre ou malsaine est source de santé nuisible et de maladies dangereuses pour le développement personnel et durable.

En ce qui concerne le directeur du collège et son Staff, ils soulignent que : « les projets écoresponsables ont véritablement renforcé la cohésion entre les apprenants, les enseignants et même le personnel administratif. Ils donnent un autre sens à la vie scolaire ». Ce propos du directeur met en évidence le rôle fédérateur de ces initiatives. Au-delà de leur portée écologique, elles instaurent une dynamique collective et favorisent l'appropriation et le meilleur développement des valeurs. Elles suscitent aussi l'implication de l'ensemble des acteurs de la communauté éducative. De ce fait, il en résulte une amélioration du climat scolaire, signe que l'écocitoyenneté constitue un véritable levier de cohésion sociale. De plus, le Directeur et son staff ajoutent : « Depuis que ces activités sont mises en œuvre, je sens une motivation nouvelle chez les élèves, surtout quand il s'agit de s'engager dans une action concrète pour leur environnement ». Ce témoignage du Surveillant Général met en lumière la capacité de ces projets à éveiller l'intérêt des apprenants par une pédagogie active et contextualisée. Les élèves développent un sentiment d'utilité et d'efficacité personnelle, renforçant leur pouvoir d'agir au quotidien, ce qui est fondamental pour l'apprentissage d'une citoyenneté écoresponsable. Pour ce faire, il est nécessaire de mettre en place des stratégies éducatives pour amener tant les usagers de l'école que les populations de Calavi à utiliser des outils pédagogiques concrets permettant d'acquérir des connaissances naturelles, de l'écologie sociale, de la macro-écologie, de comprendre les enjeux environnementaux et l'importance du reboisement, de garder leur environnement propre en apprenant à bien gérer les déchets, de

devenir des gardiens de la biodiversité dans la vie sociale et professionnelle, de développer les compétences et comportements professionnels afin de protéger et de sauvegarder la flore et la faune. Ainsi, de l'interprétation des données qualitatives et quantitatives, quelques stratégies d'actions éducatives à opérationnaliser telles que :

i) Outiller les apprenants actuels à cultiver les principes de vie saine ;
ii) Eduquer à la gestion de l'eau et de l'énergie ;
iii) Respecter la Nature et son utilisation adéquate en reconnaissant le sol et ses caractéristiques ;
iv) Réaliser de jardins dans tous les établissements scolaires ;
v) Comprendre le climat et ses exigences pour une meilleure adaptation aux changements ;
vi) Faire des bâtiments dans le sens et la direction de l'air pour réduire la consommation d'électricité en climatisation ;
vii) Prendre soin de sa santé et de l'environnement (la connaissance des plantes, leur utilisation, usage et utilité, la prise en compte du climat et l'adaptation aux saisons ainsi que d'autres éléments de l'environnement, la protection contre les effets de serres, la destruction des arbres, la réduction des déchets et celle de la pollution numérique) ;
viii) Développer l'agir de l'éthique écologique en sauvegardant les écosystèmes et la biodiversité.

Conclusion

En somme, cette recherche offre des possibilités d'éducation à l'environnement de tous les citoyens et particulièrement des acteurs de l'école dans la zone d'Abomey-Calavi. L'analyse montre qu'il convient d'intégrer l'éducation environnementale dans tous les programmes d'apprentissage à tous les niveaux et dans tous les lieux et milieux de d'apprentissage/formation technique et professionnelle et universitaire pour le changement des mentalités. Cela favorisera le développement des compétences de gestionnaire de l'environnement et l'adoption de comportements conséquents pour une meilleure conditions de vie. Ainsi, les projets scolaires écoresponsables constituent des stratégies pédagogiques de formation d'individus voire de citoyens compétents, responsables, consciencieux et gestionnaires de l'environnement.

Bibliographique

Gough, S. (2002). Increasing the value of the environment: A 'real options' metaphor for learning. *Environmental Education Research*, 8(1), 61–72. https://doi.org/10.1080/13504620120109610.

Leff, E. (2006). *La complexité environnementale*. Éditions de l'IRD.

LOI N° 2005-33 du 06 octobre 2005 Portant modification de la loi n° 2003-17 du 11 novembre 2003 portant orientation de l'Education Nationale en République du Bénin.

O'Donoghue, R., & Lotz-Sisitka, H. (2006). Situated learning in environmental education: A sociocultural interpretation of environmental action. *Environmental Education Research*, 12(3-4), 353-368. https://doi.org/10.1080/13504620600942998

Sauvé, L. (2005). Perspectives curriculaires et éducatives en éducation relative à l'environnement. Éditions Multimondes.

EVOLUTION DES EXTREMES CLIMATIQUES ET RISQUES DE CATASTROPHES AU CENTRE-CONGO (REPUBLIQUE DU CONGO) DE 1991 A 2080

Géoffroy IBIASSI MAHOUNGOU[1] ; Benelle kyliane ISSOKO MASSOUNGA[2] ; Léonard SITOU[3] ; Franges Martial DZIENGUE[4] ; Fred William MANIAKA[5]

[1]Laboratoire Géographie-Environnement et Aménagement (LAGEA), Université Marien NGOUABI ; triompheom7@gmail.com

[2]Laboratoire Géographie-Environnement et Aménagement (LAGEA), Université Marien NGOUABI ; benelleissoko@gmail.com

[3]Laboratoire Géographie-Environnement et Aménagement (LAGEA), Université Marien NGOUABI ; leonardsitou@gmail.com

[4]Laboratoire Géographie-Environnement et Aménagement (LAGEA), dzienguemartial@gmail.com

[5]Laboratoire Géographie-Environnement et Aménagement (LAGEA), Université Marien NGOUABI ; fmaniaka@gmail.com

Résumé : *La présente étude analyse les risques au Centre-Congo en relation avec les extrêmes climatiques de 1991 à 2080. La méthode AR5 du GIEC est utilisée pour l'analyse des risques climatiques. Le Centre-Congo enregistre une forte augmentation des jours très pluvieux et une forte augmentation des jours très chauds durant la période 2021-2050. Et durant la période 2051-2080, il enregistre une très forte augmentation des jours très pluvieux et une très forte augmentation des jours très chauds. Trois risques potentiels élevés (inondations, coups de chaleur, feux de brousses) sont à prévoir au Centre-Congo en relation avec l'augmentation de ces extrêmes climatiques.*

Mots-clés : *Extrêmes climatiques, risques, Centre-Congo, République du Congo*

Abstract: Evolution of climatic extremes and risks in central Congo (Republic of the Congo) from 1991-2080. *The present study analysis of the risks in Central Congo in relation to climate extremes from 1991 to 2080. The AR5 method is used to analyse the climatic. Central Congo records a sharp increase in very rainy days and a sharp increase in very hot increase in very hot days over the period 2021-2050. And during the 2051-2080 period, there will be a very sharp increase in very rainy days and a very and a sharp increase in very hot days. Three potential high risks (floods, heatstroke, bushfires) are predicted in Central Congo in relation to the with the increase in thoses climatic extremes.*

Keywords: *Climate extremes, risk, Centre-Congo, Republic of Congo*

Introduction

Le Centre-Congo, l'espace considéré pour la présente étude, est compris entre les latitudes 0° et 2°32'09''Sud, et les longitudes 14°45'09'et 18°E. Il couvre une superficie de plus 38400 km^2 (figure 2). Cet espace enregistre des effets négatifs de la variabilité et des changements climatiques. Le GIEC (2022) prévoit dans son sixième rapport que les températures moyennes mondiales connaîtront probablement, une augmentation comprise entre 1,1 et 6,4 °C (avec une meilleure estimation de 1,8 à 4 °C), supérieure aux niveaux de 1990, d'ici la fin du siècle actuel, associée à une probable augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses, températures extrêmes, etc.).

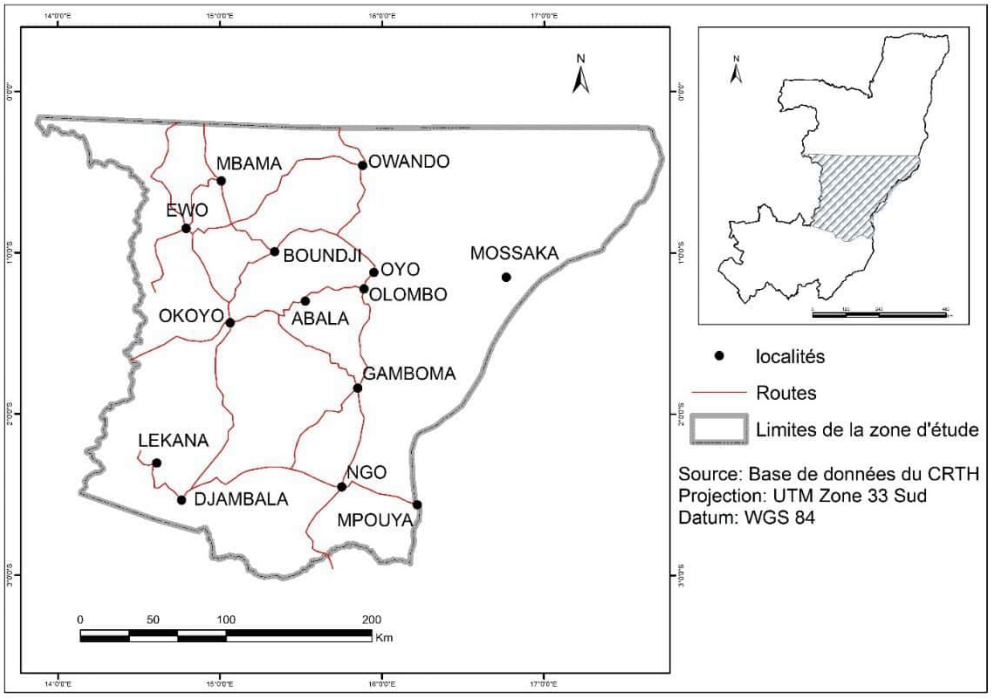


Figure 1. Localisation du Centre-Congo

Cependant, à l'échelle régionale, l'ampleur des signaux des changements climatiques et des phénomènes extrêmes associés peut être sensiblement différente par rapport à la moyenne mondiale (Rapport SREX, 2012).

Les autorités et collectivités locales du Centre-Congo ne disposent pas d'outils de planification et d'aide à la décision en lien avec la réduction des risques de catastrophes. Les autorités et collectivités locales du Centre-Congo doivent mettre en œuvre des actions impliquant les communautés locales. Renforcer les capacités des collectivités locales face aux catastrophes naturelles, par l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies locales pour la lutte contre les extrêmes climatiques. Pour les évènements d'ampleur, le rôle de l'Etat devrait être primordial pour édicter les normes de prévention, conformément à sa mission de garant du long terme et de l'intérêt général. Il se doit d'informer les populations sur la nature et la gravité des risques. Alerter par une information précoce sur l'éminence du danger. A cet effet, il est question de protéger la population des catastrophes et réduire les pertes humaines et économiques et soutenir de nouveaux partenariats pour renforcer la sécurité humaine. Préparer des rapports d'évaluation des risques dans les villes, développer des systèmes d'indicateurs de risques de catastrophe et des vulnérabilités à l'échelle nationale, enregistrer, analyser, synthétiser et diffuser les informations statistiques sur l'occurrence des catastrophes, les impacts et les pertes, sur une base régulière à travers des mécanismes internationaux et locaux. Pour y parvenir, nous nous sommes posé quelques questions qui seront donc définies comme des questions de recherches. Elles sont organisées autour d'une question centrale et de deux questions secondaires.

1. Données et méthodes d'analyse des données

Les données utilisées sont les températures de l'air et les précipitations du Centre-Congo sur la normale de référence 1991 à 2020 et sur deux normales futures : 2021-2050 et 2051-20800. Elles proviennent de la base de données CORDEX AFRICA. Pour apprécier la sensibilité environnementale de la zone d'étude les suivantes sont utilisées : des cartes de l'occupation des sols (données pédologiques : nature et types des sols).

La méthode d'analyse des données utilisée est l'approche AR5 tirée du 5ème rapport GIEC, 2014 se résume par les étapes suivantes :

- L'analyse des aléas climatiques faite à partir des tendances des indices climatiques (actuels et futurs) en utilisant le scénario climatique : RCP 8.5 (scenarios pessimistes). La période historique utilisée est 1991-2020 et les normales futures utilisées sont : 2021-2050 et 2051-2080. Les indices utilisés le sont par : (N'Guessan Bi et al., 2018 ; Aguilar et al., 2009 ; Hountondji et al., 2011 ; Katerina, 2007) proposés par l'équipe d'experts sur la détection des changements climatiques et les indices (ETCCDI) à partir du programme ClimPACT 2 Master.

- L'analyse des risques futurs est faite à partir des projections climatiques durant les normales 2021-2050 et 2051-2080, à partir de l'équation du risque, tiré de l'approche AR5 (GIEC, 2014) suivant :

$$\text{Risque} = \text{Aléas} \times \text{Vulnérabilité} \times \text{Exposition}$$

Le risque climatique dans l'approche AR5, est l'interaction de la vulnérabilité (sensibilité et capacité d'adaptation), de l'exposition et du danger (aléa climatique).

2. Résultats

2.1. Analyse des risques au Centre-Congo durant les normales 1991-2020 ; 2021-2050 ; 2051-2080 à cause des inondations

Le tableau 1, présente l'augmentation à la hausse significative des extrêmes des précipitations (R99p ; R95p ; RX5days) durant les normales 2021-2050 et 2051-2080 dans le Centre-Congo Tenant compte des inondations récurrentes enregistrées dans la cuvette congolaise durant la période 1991-2020 (Ibiassi et al., 2021), tenant compte de la sensibilité élevée de la Cuvette congolaise aux inondations, associée à sa capacité d'adaptation très faibles aux inondations au Centre-Congo, le risque des inondations sera fort durant la période (2021-2050) et très fort durant la période (2051-2080).

Tableau 1. Analyse des risques d'inondations au Centre-Congo durant les périodes 2021-2050 et 2051-2080 par rapport à la période 1991-2020

Périodes	Précipitations extrêmes	Sensibilité	Capacité d'adaptation	Conséquences (Risque d'inondations)
2021-2050	Forte augmentation des jours très pluvieux	Sensibilité forte	Faible	Risque fort des inondations au Centre-Congo
2051-2080	Très forte augmentation des jours très pluvieux	Sensibilité forte	Faible	Risque très fort des inondations

Tenant compte des projections futures des extrêmes climatiques durant les périodes 2021-2050 et 2051-2080 au Centre-Congo (tableau 2), traduisant une forte augmentation des jours très pluvieux, et des jours très chauds pendant les saisons pluvieuses (MAM, OND, JF), et tenant compte de la capacité d'adaptation faible aux aléas climatiques au Centre-Congo, le risque des maladies infectieuses sera fort durant la normale (2021-2050) et très fort durant la normale (2051-2080).

Tableau 2. Analyse des risques des maladies infectieuses et hydriques au Centre-Congo durant les normales 2021-2050 et 2051-2080

Périodes	Précipitations extrêmes	Températures extrêmes	Sensibilité	Capacité d'adaptation	Conséquences (Risque sanitaire)

2021-2050	Forte augmentation des jours très pluvieux.	Forte Augmentation des jours très chauds	Sensibilité élevé	Faible	Risque fort des maladies infectieuses et hydriques Au Centre-Congo
2051-2080	Très forte augmentation des jours très pluvieux.	Très forte Augmentation des jours très chauds.	Sensibilité élevé	Faible	Risque très fort des maladies infectieuses et hydriques au Centre-Congo

2.2. Analyse des risques au Centre-Congo durant les périodes 2021-2050 ;2051-2080 à cause des coups de chaleur

En considérant la hausse fortement significative et très fortement significative des jours très chauds et extrêmement chauds pendant les normales 2021-2050 et 2051-2080 au Centre-Congo (tableau 3), pendant les saisons (MAM, OND, JF), associées à sa faible capacité d'adaptation, et sa sensibilité socio-environnementale élevé, le risque maladies lié aux coups de chaleur sera fort durant la normale 2021-2050 et sera très fort durant la normale 2051-2080.

Tableau 3. Analyse des risques des coups de chaleur au Centre-Congo durant les normales 2021-2050 et 2051-2080

Périodes	Températures extrêmes	Sensibilité	Capacité d'adaptation	Conséquences (Risque sanitaire)
2021-2050	Forte augmentation des jours très chauds	Sensibilité élevé	Faible	Risque fort des maladies liés aux coups de chaleur
2051-2080	Très forte augmentation des jours très chauds	Sensibilité élevé	Faible	Risque très fort des maladies liés aux coups de chaleur

2.3. Analyse des risques au Centre-Congo à cause des feux de brousse durant les normales 2021-2050 et 2051-2080

En considérant la hausse significative des jours très chauds et extrêmement chauds pendant les normales 2021-2050 et 2051-2080 au Centre-Congo (tableau 4), pendant les saisons (JJAS, MAM, OND, JF), associées à une forte augmentation des jours consécutifs sans pluie ; une faible capacité d'adaptation, et la sensibilité socio-environnementale élevé, le risque des feux de brousses au Centre-Congo sera fort durant la normale 2021-2050 et sera très fort durant la normale 2051-2080.

Tableau 4. Analyse des risques des feux de brousse au Centre-Congo durant les normales 2021-2050 et 2051-2080

Périodes	**Températures extrêmes**	**Sensibilité**	**Capacité d'adaptation**	**Conséquences (Risque sanitaire)**
2021-2050	Forte augmentation des jours très chauds et une forte augmentation des périodes sèches	Sensibilité élevé	Faible	Risque fort des feux de brousses

2051-2080	Très forte augmentation des jours extrêmement chauds et une très forte augmentation des périodes sèches	Sensibilité élevé	Faible	Risque très fort des feux de brousses

Conclusion et discussion des résultats

Les résultats obtenus sur l'évolution future des extrêmes climatiques durant les normales 2021-2050, 2051-2080 par rapport à la normale de référence 1991-2020, prévoient une forte augmentation des précipitations saisonnières extrêmes et des températures extrêmes saisonnières.

L'augmentation des extrêmes climatiques entraineront trois aléas majeurs : inondations, coups de chaleurs et feux de brousses. Les risques climatiques seront forts durant la normale 2021-2050 et très fort au cours de la normale 2051-2080 au Centre-Congo.

Ces résultats relatifs aux extrêmes climatiques corroborent ceux obtenus à des échelles globale, régionale et nationale : GIEC, 2022 ; OMM, 2021 ; Pokam Mba et al., 2018 ; Ibiassi Mahoungou, G., 2021 ; Sonkoue, 2018 ; Fotso-Nguemo et al., 2018 ; Mbadinga I., et al., 2019 ; Yepdo D., et Derbetini Vondou A., 2018 ; Ibiassi Mahoungou et al., 2024, qui concluent à une augmentation significative des pluies extrêmes et des températures extrêmes.

Ces résultats sont en cohérence avec ceux obtenus au Sud-Congo, Ibiassi Mahoungou, 2020 au Nord-Congo ; Ibiassi Mahoungou G et al., 2021 ; Ibiassi Mahoungou et al., 2024 ; Golo-Bandzouzi C. et Ibiassi Mahoungou Geoffroy, 2019, au Sud-Congo ; Salah Sahabi–Abed et Mehdi Kerrouche (2017) ; GIEC, 2012 ; GIEC, 2022, OMM, 2021, Commission de l'Union africaine, 2010 ; ACMAD, 2014 ; SNPRRC, 2017. Ces auteurs mettent en relation une augmentation des risques (sanitaires, autres) avec l'augmentation des extrêmes climatiques (inconfort thermique, inondations et autres).

En perspective de la présente étude, une cartographie sectorielle des risques climatiques au Centre-Congo serait envisageable durant les normales 2021-2050 et 2051-2080. Elle permettra une gestion optimale des risques et des mesures d'adaptation au Centre-Congo.

Bibliographie

ACMAD, 2014, Analyse et évaluation de l'existant et Etudes des besoins en matière systèmes d'alerte et produits de vigilance en Afrique sub-saharienne, 226 p.

Fotso-Nguemo T., Chamani R., Djomou Yepdo Z., Sonkoué D., Matsaguim C., Nguimdo, et al., 2018: Projected trends of extrême rainfall évents from CMIP5 models over Central Africa ; *Atmopsheric science Letters* ; DOI : 10.1002/asl.803 ; 8P.

GIEC (2022) : Le deuxième volet du sixième rapport d'évaluation du GIEC : *AR6 Changement climatique 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité* — GIEC (ipcc.ch) :

Golo-Bandzouzi C.; Ibiassi Mahoungou G., 2020 : Variabilité climatique et émergence du paludisme à Pointe-Noire (République du Congo) ; *Revue Tunisienne de Géographie (RTG)* ; N° 52-53, PP. 71-90

Goubanova K.,2007, une étude des événements climatiques extrêmes sur l'Europe et le bassin méditerranéen et de leur évolution future thèse de doctorat paris 6 119 p.

Mbadinga I., Indjieley M. ; Maloba-Makanga. J.D., 2019 : Quelles indicateurs de vulnérabilité aux inondations dans le bassin-versant de l'Ogooué à Lambaréné P. 217-222

SNPRRC : République du Congo, 2017 : *Stratégie Nationale de Prévention et de Réduction des Risques de Catastrophes (SNPRRC) de la République du Congo*, 67p.

Ibiassi Mahoungou G., Maniaka Fred William (2021) : Changements climatiques et risques environnementaux du littoral congolais, dans Actes du colloque PATEO/UASZ : "Vulnérabilité des sociétés et des milieux côtiers et estuariens d'Afrique de l'Ouest, Sénégal du 19 au 22 novembre 2019 ; *l'Harmattan-Sénégal*, PP. 403-420.

Ibiassi Mahoungou G., 2020 : Réchauffement climatique et caractérisation des ambiances bioclimatiques saisonnières à Brazzaville et Pointe-Noire de 1960 à 2019 par application de l'indice Humidex, Revue Climat et développement ; LACEEDE ; n°29, PP. 5-15

Ibiassi Mahoungou G., 2021: Diagnostic de l'évolution actuelle (1960 à 2019) et future (2040 ; 2070 ; 2100) des facteurs d'exposition climatiques à Pointe-Noire (République du Congo); *Espace Géographique et Société Marocaine* ; Vol. 1, No 52 (2021) : spécial étude africaine ; pp.43-64 ; DOI : https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/EGSM/27872

Ibiassi Mahoungou G., Sambou P., C., Itoua T., R., ; Dziengue F., W., Maniaka F., Vondou W., D., A., (2024) : Evolution des extrêmes des températures saisonnières à Brazzaville (République du CONGO) de 1991 à 2020 et changements climatiques prévus de 2021 à 2080 ; *Baluki*, 8e année, n°15, vol. VIII; p.323-339

Ibiassi Mahoungou G., Moundzeo L., franges martial Dziengue F., M., Maniaka F,, W., Aminatha Christine Mahoungou Tsimba C., A., 2024 : Tendance des extrêmes des précipitations de 1991 à 2080 à Brazzaville (République du Congo) ; *Esibla* ; ISBN : 978-2-493445-10-0 ; pp.47-60

Pokam Mba W., Longandjo G.,-N., ; Moufouma-Okia W., Bell J.P: James R., et al., 2018 : Conséquences of 1.5 °C and 2 °C global warming levels for température and précipitation changes over Central Africa ; *Environ. Re s. Lett.* 13 055011 13P.

Rapport SREX, 2012 : *gestion des extrêmes climatiques et des catastrophes en Afrique*, 20 p.

Yapi aF, Oga Y.M.S (1), N'GUESSAN BI V.H., KPAN O.J.G. et BIEMI J., 2019 : Analyse des extrêmes pluviométriques par la méthode des indices climatique dans la région de la MARAHOUE (centre ouest de la Cote d'Ivoire) 283-288p.

Yepdo D.,·Derbetini Vondou A., 2018 : Evaluation and projected changes in daily rainfall characteristics over Central Africa based on a multi-model ensemble mean of CMIP5 simulations ;*Theoretical and Applied Climatology*

THE EXTREME HEAVY PRECIPITATION EVENT IN AUGUST 2024 OVER ROMANIAN BLACK SEA COAST: FROM THE SYNOPTIC CONTEXT TO CONSEQUENCES

Raul-Gabriel ILEA[1,2], Dana Maria CONSTANTIN (OPREA)[1], Liliana ZAHARIA[1], Elena GRIGORE[1], Gabriela IOANA-TOROIMAC[1], Adrian Amadeus TIȘCOVSCHI[1]

[1] University of Bucharest, Faculty of Geography, 1 N. Bălcescu Boulevard, 010041, Bucharest, Romania, raul11_bv@yahoo.com; oprea.constantin@geo.unibuc.ro; zaharialili@hotmail.com; grigore.elena@geo.unibuc.ro; gabriela.toroimac@geo.unibuc.ro; adrian.tiscovschi@geo.unibuc.ro
[2]National Meteorological Administration, 97 București-Ploiești Street, 013686, Bucharest, Romania, raul11_bv@yahoo.com

Abstract: *Heavy precipitation is one of the climate hazards that have increased in intensity and frequency as a result of the current global warming. The main objective of this study is to identify and analyze the synoptic context responsible for the heavy precipitations and floods over the Romanian Black Sea coast in 28 – 31 August 2024. The study is mainly based on the analysis of synoptic maps (surface, 850 hPa, 700 hPa, and 500 hPa) and the processing of precipitation data recorded at five meteorological stations (MS) belonging to the National Meteorological Administration. In the study area, an increased atmospheric instability occurred which caused very high amounts of precipitation at the end of August 2024: 325.7 mm at Mangalia MS and 99.5 mm at Constanța MS. This heavy precipitation generated floods with significant material damage.*

Keywords: *heavy precipitation, synoptic context, floods, Romanian Black Sea Coast.*
Résumé : L'épisode des précipitations fortes d'août 2024 sur la côte roumaine de la Mer Noire : du contexte synoptique aux conséquences *- Les fortes précipitations constituent l'un des aléas climatiques dont l'intensité et la fréquence ont augmenté dans le contexte du réchauffement climatique actuel. L'objectif principal de cette étude est d'identifier et d'analyser le contexte synoptique responsable des fortes précipitations et des inondations survenues sur la côte roumaine de la Mer Noire du 28 au 31 août 2024. L'étude repose sur l'analyse de cartes synoptiques (surface, 850 hPa, 700 hPa et 500 hPa) et le traitement des données pluviométriques enregistrées aux cinq stations météorologiques appartenant à l'Administration Nationale de Météorologie. L'évènement pluviométrique a été le résultat d'une forte instabilité atmosphérique qui a provoqué de très fortes précipitations à la fin d'août 2024 : 325,7 mm à la station de Mangalia et 99,5 mm à celle de Constanța. Ces précipitations ont engendré des crues rapides et des inondations avec des dégâts matériels importants.*

Mots-Clés : *fortes précipitations, contexte synoptique, inondations, la côte roumaine de la Mer Noire.*

Introduction

In the current context of climate change, an increase in the intensity and frequency of heavy precipitation and flash floods has been observed in Romania (Constantin et al., 2022; Constantin et al., 2024). These events generally occur on a local or regional scale and have both a significant socio-economic impact, due to severe damage to human settlements and human welfare, and a negative impact on natural vegetation and ecosystems, as well as on water supply and management (Croitoru et al., 2016). Over time, extreme heavy precipitation has been recorded at many meteorological stations (MS) on the Romanian Black Sea coast. For example, in just 24 hours, a total amount of 130.2 mm was registered at Jurilovca MS (4 July 1954) and 219 mm at Sulina MS (29 August 1924) (Ștefănescu et al., 2014). The maximum amount of precipitation in 24 hours was 530.6 mm, recorded at C.A. Rosetti (30 August 1924), a weather station also located near the Black Sea coast, representing the absolute maximum value in Romania, during the 1872-2005 period (Dragotă, 2006). A century after this extreme pluvial event, another one was recorded at the end of August 2024, causing floods especially in the southern part of the Romanian Black Sea coast.

The aim of this communication is to identify and explain the synoptic context in which the above mentioned extreme rainfall event occurred. The analysis has been carried out for the period 28-31 August 2024, in order to better understand the mechanism that generated the

large amounts of precipitation, which generated floods with significant damages on the Romanian Black Sea coast (especially in the city of Mangalia, Figure 1). *The study area is generally characterized by low annual precipitation (lower than 400 mm/year), but it can receive heavy rainfall when crossed by a Mediterranean cyclone or when a cyclone is located above the Black Sea, it recharges with moisture, and then it takes a retrograde trajectory (Ion-Bordei, 1983).*

1. Data and methods

The analysis of the synoptic context from 28-31 August 2024 was based on synoptic maps, from surface level and at different levels in the troposphere (*850 hPa, 700 hPa and 500 hPa) containing information regarding air temperature, relative humidity, atmospheric pressure and the geopotential (Deutschen Wetterdienstes, 2025)*. In addition, radar images from Medgidia meteorological radar were used from the National Meteorological Administration of Romania (NMA, 2024). Moreover, daily pluviometric data recorded at five meteorological stations (MS) located on the Black Sea coast, in the eastern part of Dobrogea region (area in southeastern Romania, boarded by the Danube River at West and North, and by the Black Sea at East), belonging to the NMA, were processed for the mentioned period. From North to South, these MS are Sulina, Sfântu Gheorghe, Gura Portiței, Constanța and Mangalia, being representative for the study area (Figure 1). The meteorological data were extracted from the NMA databases, being also used to calculate the sum of precipitation for the entire reference period. In the last section of this study, some effects of the extreme heavy precipitation were presented, based on information from the media.

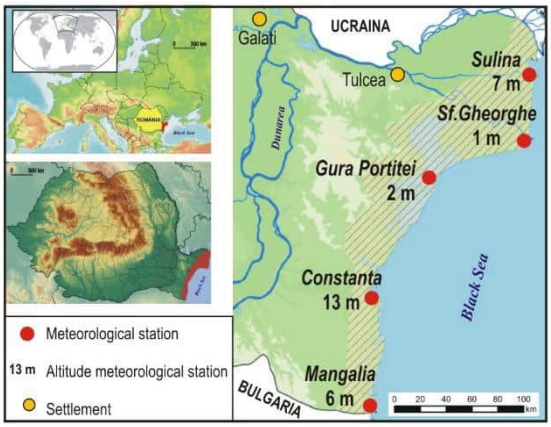


Figure 1. The location of the study area and the five meteorological stations analyzed.

2. Results and discussions

2.1. Synoptic context

On 28 August 2024, the thermal contrast at 850 hPa level (Figure 2-left) is noticeable over Romania, so that in the western part of the country the 20°C isotherm was located, and in the southeastern regions, the 14°C (the lowest temperature values correspond to a cold core, with 12°C at the center, located in the eastern part of Bulgaria). At the same time, most European countries are dominated by a ridge of tropical air mass, of North African origin, with the highest temperature values in the countries near the Mediterranean Sea, where the 20°C isotherm can be highlighted over extensive areas.

At the 500 hPa level, the corresponding ridge is noticeable, with the maximum geopotential of 584 gpdam centered on the southeastern part of Europe, including above Romania (the country is located in the middle of the ridge) (Figure 2-right).

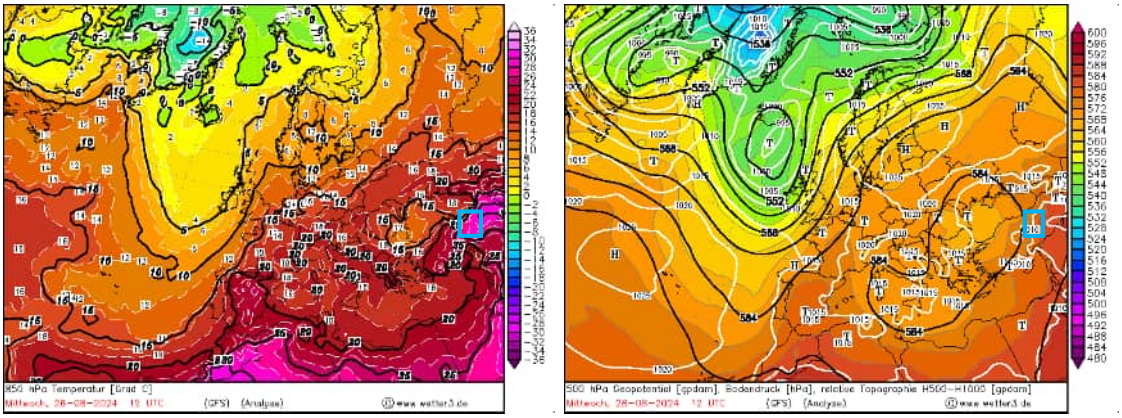


Figure 2. The 850 hPa temperature (left), the 500 hPa geopotential (black lines), the surface atmospheric pressure (white lines) and the thickness of the 500-1000 hPa layer (gpdam) (right), GFS model, 28.08.2024, 12 UTC (Data source: https://www.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html, accessed on 12 January 2025). Note: study area is highlighted by a blue border.

Regarding the synoptic context at the surface level, an anticyclone centered on the Baltic countries has been observed, with a maximum atmospheric pressure value of 1,029 hPa; in contrast, a low atmospheric pressure area (cyclone) was located over the northern Atlantic Ocean, with a minimum of 993 hPa, near Iceland. In the case of Romania, the 1,015 hPa isobar was located over Dobrogea, including over the Black Sea coast, characterizing a normal value at sea level. In Figure 3-left, it is worth noting that thermal contrast is very high between different regions of Romania. There were up to 35°C in the western part of the country, and in the southeast, only 20°C. If we refer to the relative humidity at 700 hPa, the highest values were registered in Romania and Bulgaria (Figure 3-right), exactly where the highest geopotential value (584 gpdam) was identified in the middle troposphere. As a summary of this day, the synoptic context was favourable for heavy precipitation (water quantities of 20-25 mm) and lightning, especially in Dobrogea region, in southeastern Romania.

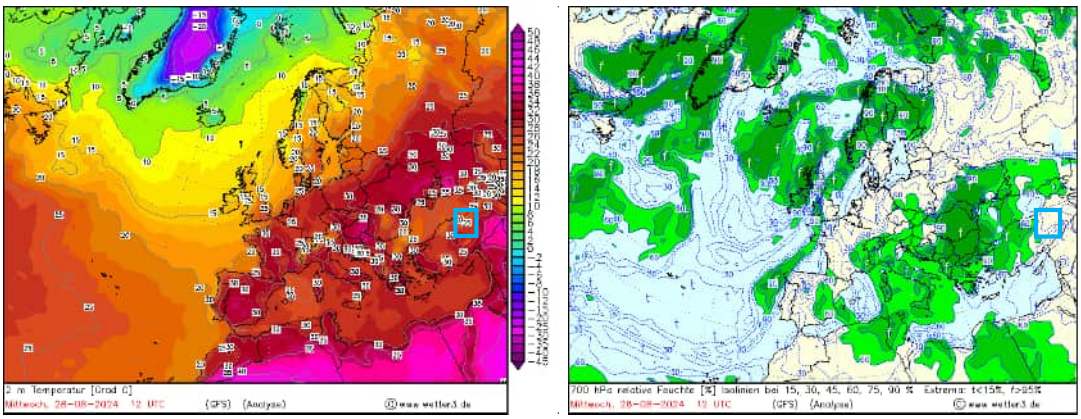


Figure 3. The 2 m temperature (left) and the 700 hPa relative humidity (right), GFS model, 28.08.2024, 12 UTC (Data source: https://www.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html, accessed on 12 January 2025). Note: study area is highlighted by a blue border.

On the next day (29 August 2024), at the level of 850 hPa, a core of cold air can be identified in the eastern half of Romania, represented by the 14°C isotherm; in contrast, the rest of the country and a most of Europe are still characterized by a tropical air mass. At the 500 hPa level, the same ridge observed on the previous day is noticeable, with 572 gpdam over Romania, which means a slight decrease in geopotential. A cold atmospheric front was positioned over France and Norway, which gradually advanced towards the east of Europe; it determined high atmospheric instability in front of the cold front (a triggering factor for severe weather phenomena). In the lower troposphere, an anticyclone was centered on the Russian Plain, with 1,027 hPa at its center; at the same time, the lowest atmospheric pressure

values were recorded on the western part of the Scandinavian countries (997 hPa). In Romania, the 1,015 hPa isobar was still above Dobrogea (as on the previous day) and the relative humidity was more than 90%, at the level of 700 hPa.

A very important fact was that the highest geopotential values at 500 hPa correspond to the highest relative humidity values at 700 hPa and at surface level. Even though most parts of Europe were dominated by a ridge, in the eastern part of Romania there was a colder air mass, therefore a remarkable thermal contrast was observed, which could be identified at the 850 hPa level (Figure 4-left).
All these elements indicate the possibility of high atmospheric instability (high probability for severe weather phenomena) in the southeastern part of Romania (Dobrogea). As a result, between 29 and 30 August 2024, there were severe thunderstorms in the area, with precipitation amounts sparsely over 50-60 mm (up to 84.3 mm at Mangalia MS), as can be seen in Figure 4-right, accompanied by wind gusts of 50-60 km/h.

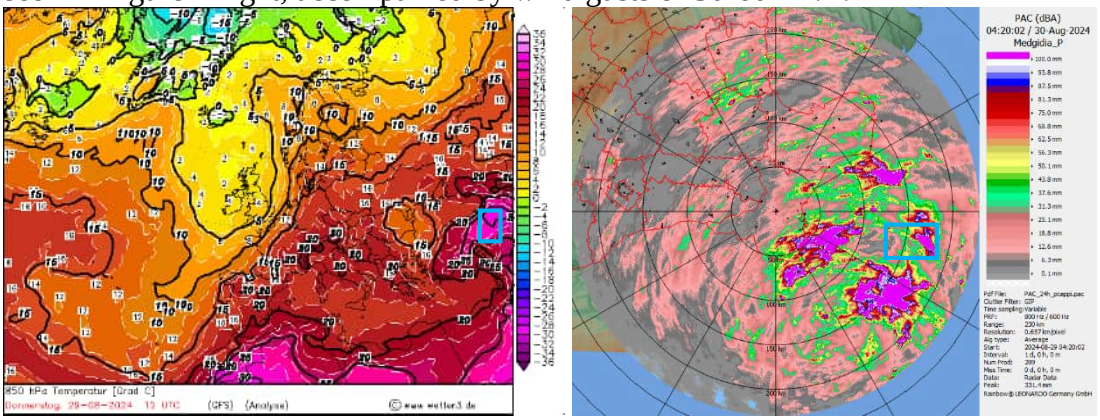


Figure 4. The 850 hPa temperature, GFS model, 29.08.2024, 12 UTC (left) and the precipitation amounts from Medgidia meteorological radar (right) (Data sources: https://www.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html and NMA, 2024). Note: study area is highlighted by a blue border.

On 30 August 2024, severe storms were reported mainly in the southeastern part of Romania (Dobrogea). The synoptic context was quite similar as the previous day; a cyclone with pressure of 1,010 hPa at its center was located above the southwest side of the Black Sea. At the level of 500 hPa, the same tropical air mass had influence over most of the continent, with the lowest geopotential values over Romania.

At the level of 850 hPa, the 14°C isotherm was located over Dobrogea and at 700 hPa level the relative humidity was more than 90%. The element that amplified the severity of the meteorological phenomena on this day was identified at 500 hPa, represented by an area with low geopotential values (cut-off low), centered on the southwestern part of the Black Sea. This cut-off low influenced the weather in Dobrogea, especially on the southern side of the Black Sea coast, where severe thunderstorms occurred; the precipitation amounts locally reached 50-90 mm, especially between the cities of Constanța and Mangalia.
On the last day analyzed (31 August 2024), the cyclone moved northeast, developing over the center of the Black Sea. The surface atmospheric pressure increased over Romania, up to 1,020 hPa. At 500 hPa, another ridge from northern Africa extended over Central Europe, including the western part of Romania. The cut-off low has reached the occlusion phase and severe weather phenomena have been reported only in the northern Dobrogea, in the Danube Delta. In the respective area, there were sparsely thunderstorms (with precipitation amounts up to 32.6 mm, registered at Sfântu Gheorghe MS).

2.2. The pluvial event and its consequences

In the synoptic context described above, heavy precipitation fell on the Black Sea coast, reaching at some stations very large amounts, even a record. Thus, during the 28-31 August

2024 period, at Mangalia MS, the total amount of precipitation reached 325.7 mm (Table 1), which is almost 10 times higher than the average monthly amount from 1991-2020 period (31.7 mm) (NMA, 2024). At this station, on 30 August was reached the daily maximum amount of precipitation (232.6 mm). It is worth noting that 214.0 mm fell in only 5 hours, between 20 UTC and 01 UTC, the next day. Significant amounts of precipitation (99.5 mm) fell in Constanța, i.e. about a quarter of the annual amount. Both Constanța and Mangalia are important tourist cities on the Black Sea coast, very crowded with tourists in the summer. The precipitation was accompanied by wind gusts of up to 60 km/h (NMA, 2024).

Table 1. The daily and total precipitation amounts (mm) between 28 and 31 August 2024, recorded at the five meteorological stations analyzed in the study area (Data source: NMA, 2024).

MS / Day	28.08	29.08	30.08	31.08	28-31.08
Sulina	6.4	0.0	1.8	0.8	**9.0**
Sf. Gheorghe	14.0	8.1	11.3	32.6	**66.0**
Gura Portiței	7.6	11.5	2.0	0.5	**21.6**
Constanța	10.7	28.2	58.7	1.9	**99.5**
Mangalia	8.5	84.3	232.6	0.3	**325.7**

The heavy precipitation event on 28-31 August 2024 period was among the most severe recorded in the last century in the study area. It generated rapid urban floods that affected socio-economic activities in the cities and tourist resorts along the southern coast of the Black Sea, and caused significant material damage (Figure 5A, B). The damage was aggravated by the strong wind (Figure 5C). The most important cities, Constanța and Mangalia, but also smaller ones, suffered serious damage. In Limanu resort, a flash flood on a small river destroyed part of the beach and tourist infrastructure (Figure 5D).



Figure 5. The effects of heavy precipitation and strong wind gusts in some localities on the Black Sea coast, between 28 and 31 August 2024: A – Agigea (near Constanța city); B – Mangalia; C – Constanța; D – Limanu (near Mangalia city) (Data sources: focuspress.ro and ziuaconstanta.ro, accessed on 25 January 2025).

Conclusions

The extreme heavy precipitation from 28-31 August 2024 represents one of the most severe events recorded in the 21st century on the Black Sea coast. In a short period of time (approximately five hours), between 29 and 30 August, the amounts of precipitation that would normally occur over an entire year were exceeded. As a result, floods and significant material damage occurred on the southern part of Dobrogea, especially between Constanța and Mangalia cities.

The synoptic context that led to the possibility of such a severe event was represented by a core of cold air located at the level of 500 hPa (cut-off low) centered on the western Black

Sea and Dobrogea. More than that, the thermal contrast between the ground and different levels of the troposphere was remarkable and the relative humidity was very high, with values over 90%. All of these represented the main elements that led to the occurrence of severe meteorological phenomena in the analyzed area.

In recent decades, an increase in the intensity of meteorological and hydrological risk phenomena has been observed globally, and the population must always be prepared for major events, such as the one recorded at the end of August 2024 on the Romanian Black Sea Coast. This can be done through different means and methods in case of immediate severe weather events, but also through various hydro-technical arrangements in order to mitigate the effects of flash floods, which can cause serious material damage.

References

Constantin D. M. O., Onțel I., Tișcovschi A. A., Irimescu A., Grigore E., Ilea R. G., Dîrloman G., 2022 : Observed Changes in the temperature and precipitation regime along the Lower Danube River. In: *The Lower Danube River: Hydro-Environmental Issues and Sustainability* (pp. 273-297). Cham: Springer International Publishing.

Constantin D. M. O., Grigore E., Zaharia L., Tișcovschi A. A., Ioana-Toroimac G., Lüftner G. D., Ilea R. G., 2024 : *Observed changes in the precipitation regime along the Romanian lower Danube River*. XXXVIIème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, 46-47.

Croitoru A. E., Piticar A., Burada D. C., 2016 : Changes in precipitation extremes in Romania. *Quaternary International*, **415**, 325-335.

Deutschen Wetterdienstes, 2025 : https://www.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html (Accessed on 12 January 2025).

Dragotă C. S., 2006 : *Precipitaţiile excedentare în România*. Editura Academiei Române, București.

Ion-Bordei E., 1983 : *Rolul lanțului alpino-carpatic în evoluția ciclonilor mediteraneeni*. Ed. Acad. Republicii Socialiste România, București.

NMA (National Meteorological Administration of Romania), 2024 : https://www.meteoromania.ro/ (Accessed on 12 January 2025).

Ștefănescu V., Ștefan S., Georgescu F., 2014 : Spatial distribution of heavy precipitation events in Romania between 1980 and 2009. *Meteorological Applications*, **21(3)**, 684-694.

FLOOD VULNERABILITY MAPPING USING GEOSPATIAL TECHNIQUE AND ANALYTIC HIERARCHY PROCESS MULTI-CRITERIA ANALYSIS IN THE URBAN COMMUNE OF DÉDOUGOU, BURKINA FASO

Halidou KAFANDO[1], Blaise OUEDRAOGO[2], Vincent N. OJEH[3], Andreas RIENOW[4]

[1]WASCAL Graduate Research Programme on climate change and Education, University of The Gambia, Department of agriculture and environment science, P.O. Box 3530, Kanifing, The Gambia, Email: kafandobangba8819@gmail.com
[2]Research Associate in Geography - Institute of Environment and Agricultural Research - (INERA) Lecturer at the Joseph Ki Zerbo University -Laboratory of Research and Studies on Environments and Territories (LERMIT), Burkina Faso, Email: blaise32fr@iahoo.fr
[3]Department of Geography, Faculty of Social Sciences, Taraba State University, PMB 1176, Jalingo Taraba State, WASCAL Alumni, Nigeria, Email: vinceojehnetwork@gmail.com
[4]Interdisciplinary Geographic Information Science, Institute of Geography, Ruhr-University Bochum, Germany, Email : andreas.rienow@rub.de

Abstract: *The objective of this study is to use the Analytic Hierarchy Process (AHP) multi-criteria analysis method combined with Geographic Information Systems (GIS) to map potential flood-prone areas in the urban commune of Dédougou, in order to facilitate decision-making on flood forecasting and mitigation. The methodological approach consisted in coupling the AHP multi-criteria technique to Geographic Information Systems (GIS). The results obtained show a mapping of vulnerable areas. These are areas of very low vulnerability (13.58%), areas of low vulnerability (22.05%), areas of moderate vulnerability (7.28%), areas of high vulnerability (29.11%) and areas of very high vulnerability (27.97%). The prevalence of flood risk in the urban commune of Dédougou is 47.89% of the communal territory, i.e. an area of 535.27 km².*
Keywords: *Analytic Hierarchy Process (AHP), Geographic Information System (GIS), Multi-Criteria Analysis (MCA), Flood Mapping*
Résumé : Cartographie de la vulnérabilité aux inondations par technique géospatiale et analyse multicritère par processus analytique hiérarchique dans la commune urbaine de Dédougou, Burkina Faso. *L'objectif de cette étude est d'utiliser la méthode d'analyse multicritère par Processus Analytique Hiérarchique (PHA) combinée aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) pour cartographier les zones potentiellement inondables de la commune urbaine de Dédougou, afin de faciliter la prise de décision en matière de prévision et d'atténuation des inondations. L'approche méthodologique a consisté à coupler la technique multicritère PHA aux Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les résultats obtenus montrent une cartographie des zones vulnérables aux inondations. Il s'agit des zones de très faible vulnérabilité (13,58 %), de faible vulnérabilité (22,05 %), de vulnérabilité moyenne (7,28 %), de forte vulnérabilité (29,11 %) et de très forte vulnérabilité (27,97 %). La prévalence du risque d'inondation dans la commune urbaine de Dédougou atteint 47,89 % du territoire communal, soit une superficie de 535,27 km².*
Mots-clés : *Processus analytique hiérarchique (PAH), Système d'information géographique (SIG), Analyse multicritère (ACM), Cartographie des inondations*

Introduction

The change in land use from agricultural or forestry environments to urban or peri-urban environments accentuates the soil sealing and consequently the phenomena of flooding by runoff. Extreme weather events, such as heat waves, heavy rainfall, storms and droughts, are becoming more frequent and powerful in many parts of the world due to human-induced climate change(Clarke & Otto, 2015). In the current context of demographic pressure and climate change, the increase in flooding has become a major problem. In Burkina Faso, despite the drought, the country has been experiencing permanent flooding for decades(Guelbeogo, 2022). According to the Burkina Faso Red Cross (2013), On 29 July 2013, heavy rainfall caused flooding in the villages of Souri, Badala and Kounandia in Mouhoun province Dédougou. The assessment revealed that 480 people were affected, including 104 children under the age of 5, 9 pregnant women and 6 nursing mothers. Material losses were documented, including 36 destroyed latrines, 16 destroyed granaries, 77 fallen houses, 17 flooded houses, 27 flooded wells, 105 bags of 50 kg of fertiliser affected (69 washed away and 36 wet), 24 bags of cotton seeds and 7,200 kg of food washed away. There

were also reports of animal losses (7 goats, 16 sheep, 427 poultry). In order to reduce the damage caused by floods and to ensure the safety of property and people, it is necessary to identify the areas at risk of flooding and the factors that contribute to or amplify the extent of the damage and losses caused by these disasters (Khalifa, 2015). To this end, the technique of multi-criteria analysis (MCA) combined with GIS is indispensable for the delimitation of flood risk areas. The objective of this study is to identify and map the areas susceptible to flooding in the urban commune of Dédougou. F*lood vulnerability map* will help authorities and decision-makers in their decision making on prevention, mitigation and protection measures against the impacts of floods. The methodological approach used in this study is multi-criteria decision support analysis based on the use of the Analytic Hierarchy Process (AHP). The AHP method is a method that allows the decomposition of a complex problem into a hierarchical system. It is a method developed in 1971 by Thomas L. Saaty. This method essentially consists of three major steps: the identification of decision criteria, the classification and standardisation of these criteria and the weighting of the criteria and their aggregation according to Saaty's multi-criteria approach. This approach consists of using multi-source and multi-format data in a Geographic Information System (GIS).

2. Methodological approach

2.1. Presentation and location of the study area

The commune of Dédougou has 37 attached villages and 07 sectors. In relation to the border communes, it is limited: to the East by the commune of Douroula; to the West by the communes of Sanaba and Bourasso; to the North by the communes of Sono and Gassan; to the South by the communes of Ouarkoy and Kona; to the South-East by the commune of Safané. The commune is located between latitude 12°27.48 in the North and longitude 3°27.38 in the West

2.2. Materials

Multi-source and multi-format data were used in this study.

Table 1. Characteristics of the data used

Data	*Sources*	*Scale or Resolution*	*Date of acquisition*	*Uses*
Administrative boundaries of Burkina Faso	IGB, BNDT	Shapefile vector	2012	Location map
Image ASTER SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)	USGS/NASA	30 m	2021	Map of slope, elevation, drainage network density, topographic moisture index
Image Landsat 8 OLI	SP/CNDD	30 m	2021	Land use map/Land cover
Type of soil	BUNASOLS	Shapefile vector	2012	Soil type map
Precipitation	NMA	Excel	2021	Rainfall map

2.3. Methods

2.3.1. Choice of decision factors and mapping of the factors (criteria) conditioning flooding

The weight of the work and the reliability of the results are based on the choice of the decision factors (criteria). The choice of decision factors in this work was based on a review of the literature on multi-criteria analysis in relation to flooding (Amaya et al., 2021; akindele & Todome, 2021; Ayari et al., 2016; Penki et al., 2022; Swain et al., 2020) and advice from flood disaster risk reduction specialists. For this purpose, the factors land use, soil type, precipitation, density of the drainage network, soil moisture index, slope and altitude were

selected. Each factor in the context of this study plays an important role in the occurrence of floods. The choice of decision criteria within the framework of the AHP (Analytic Hierarchy Process) approach coupled with GIS was based on an in depth review of scientific literature on multi-criteria analyses applied to floods, as well as on recommendations from specialists in risk management and flood disaster prevention. This dual approach scientific and expert ensured the relevance, reliability, and consistency of the criteria selected, taking into account both the hydrogeomorphological dynamics of the territory and best methodological practices in flood vulnerability assessment.

2.3.2. Hierarchical multi-criteria analysis (HMA) process

2.3.2.1. Classification and standardisation of decision criteria

Each identified criterion is subdivided into classes representing either a particular environment or a range of values. For each criterion, five classes were defined as very weak, weak, medium, strong and very strong, in order to improve the conditions for interpretation. Furthermore, for a good multi-criteria analysis, the different classes of each criterion are standardised according to their particular influence on reservoir formation. The intermediate classes have an intermediate rating according to an increasing or decreasing linear distribution (Koudou *et al.*, 2013).

2.3.2.2. Weighting of the decision criteria

The classified criteria were combined by the full aggregation method by weighting. The individual weights reflect the relative importance of the criteria in the reservoir formation. The technique of assigning weights to each criterion is based on the Multicriteria Hierarchy Method of Saaty 1971 developed. The weight values, determined from a series of pairwise comparisons of the identified criteria, are recorded in Table 2 below. The weights assigned to each criterion vary between 0 and 1 and sum to 1.

Table 2: Pairwise comparisons of identified criteria (AHP)

	TWI	**E**	**S**	**P**	**LUs**	**Dd**	**Ts**	**Weight**
TWI	1	1	1	1	3	1	1	**0,16**
E		1	1	1	2	1	1	**0,15**
S			1	1	3	1	1	**0,16**
P				1	3	2	1	**0,178**
LUs					1	1	1	**0,084**
Dd						1	1	**0,128**
Ts							1	**0,14**

TWI= Topographical wetness index, E= Elevation, S= Slope, P= Precipitation, LUs=Land use sol, Dd=Drainage density, Ts= Type of soil

2.3.2.3. Aggregation of factors in a GIS

The knowledge of the weights and standardised values of each criterion allows the calculation of the flood susceptibility index, given by the equation: S=WiXi Where, S: the result, Wi: weight of criterion i and Xi: standardised value of criterion i. This suitability index is located on a scale of 0 to 10, as the sum of the weighting coefficients developed by the Saaty method is 1. The thematic map consists of plotting the different index values in space, subdivided into intervals, and corresponding these index ranges to flood susceptibility classes. Five classes of susceptibility qualified as very low, low, medium, high and very high have been defined for a better readability and interpretation of the resulting map.

3. Results

This final map above shows areas susceptible to flooding in the urban commune of Dédougou. The map is subdivided into five classes of susceptibility zones, these are very low,

low, moderate, high and very high. The zones of very low vulnerability represent (13.58%), the zones of low vulnerability are (22.05%), the zones of moderate vulnerability are (7.28%), the zones of high vulnerability cover (29.11%) and the zones of very high vulnerability are (27.97%). The AHP multi-criteria analysis method combined with GIS produced sufficiently satisfactory results. Overlaying areas prone to severe flooding on a satellite image and the municipality's flood history enabled us to validate the flood vulnerability map for the municipality of Dédougou.

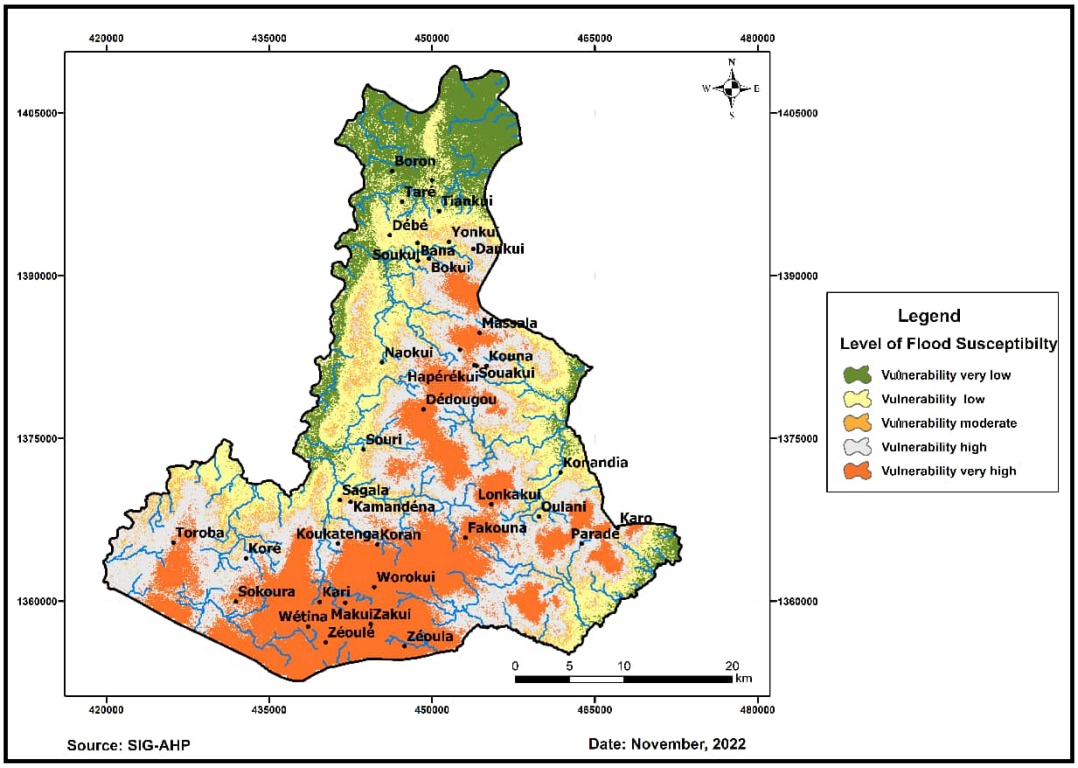


Figure 1. Final map of flood susceptibility in the urban commune of Dédougou

Conclusion

The map of the urban commune of Dédougou was made by combining environmental data such as land use, soil types, drainage density, rainfall, slope, altitude and topographic moisture index. Thus, we have a flood susceptibility map with five levels of flood sensitivity and this varies from very low to very high vulnerability. Practically the entire southern part of the municipality is highly vulnerable to flooding. This vulnerability increases from the south to the centre of the municipality. The statistical analysis of the AHP shows that 47.89% of the commune is susceptible to flooding.

Bibliography

akindele, A. A., & Todome, L. (2021). Flood risk assessment by a multicriteria spatial analysis in the municipalities of Pobè and Adja-Ouèrè. International Journal of English Literature and Social Sciences, **6(3)**, 120–131. https://doi.org/10.22161/ijels.63.20

Amaya, A., Ntoumbé, M., Diguim, A. K., & Kah, E. (2021). Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l ' analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d ' Information Géographique (SIG) : Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord , Cameroun) [Flood Susceptibility m. **33(3)**, 491–501.

Arcade, A., & Axiale, A. (2012). D ' A M E N A G E M E N T E T D ' U R B A N I S M E. 1–385.

Ayari, K., Djebbi, M., & Chakroun, H. (2016). Cartographie du risque d'inondation de l a ville de medjez el bab par debordement de la medjerda flood risk mapping of the city of el bab medjez by the overflow of the medjerda. Larhyss Journal, 1112-3680, 285–307.

Clarke, B., & Otto, F. (2015). Les évènements météorologiques extrêmes et le changement climatique. Les évènements météorologiques extrêmes, tels que les vagues de chaleur, les fortes pluies, les tempêtes et les

sécheresses, deviennent plus fréquents et plus puissants dans de nombreuses régions du monde en raison du changement climatique provoqué par le

Guelbeogo, S. (2022). Cartographie des risques d ' inondation dans le bassin versant du Kou au Burkina Faso. **21(3)**, 60–75.

INSD. (2020). Résultats préliminaires du RGPH 5. http://www.insd.bf/contenu/documents_rgph5/RAPPORT_PRELIMINAIRE_RGPH_2019.pdf

Kan et al. (2021). Revue Canadienne de Géographie Tropicale Canadian Journal of Tropical Geography Apport de la géomatique et de l ' analyse multicritère pour l ' évaluation et la prévention du risque dans la commune d ' Abobo (Abidjan , Côte d ' Ivoire) Outils et méthode. **8(1)**, 31–37.

Khalifa, D. (2015). Contribution à l'étude de l'aléa " inondations": Genèse et prédiction Cas de la vallée d'El-Abadia (w.Ain Defla). 112.

Koudou, A., Adiaffi, B., Assoma, T. V, Sombo, A. P., Amani, E. M. E., & Biemi, J. (2013). Conception d ' un outil d ' aide à la décision pour la prospection des eaux souterraines en zone de socle du sud-est de la Côte d ' Ivoire Southeast of Ivory Coast Situation géographique. 225, 211–226.

Penki, R., Basina, S. S., & Tanniru, S. R. (2022). Application of geographical information system-based analytical hierarchy process modeling for flood susceptibility mapping of Krishna District in Andhra Pradesh. Environmental Science and Pollution Research. https://doi.org/10.1007/s11356-022-22924-x

Rakotoarivelo, J. B. (2015). Analyse Comparative de Méthodes Multicritères d'Aide à la Décision pour le Secteur Financier. 62.

Ramos, A., Cunha, L., & Cunha, P. P. (2014). Analytic hierarchy process (AHP) applied to the landslides study in a coastal area of the central Portugal: Figueira da Foz - Nazaré. Geo-Eco-Trop, **38(1)**, 33–44.

Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. ISPRS International Journal of Geo-Information, **9(12)**. https://doi.org/10.3390/ijgi9120720

ASPECTS D'UNE DYNAMIQUE ET DES MODELES CLIMACIQUES DANS LA BANDE DU GLACIS MERIDIONAL DE L'EST ENTRE BONDOUKOU ET TANDA (NORD-EST DE LA COTE D'IVOIRE)

Sambi KAMBIRE

Université Peleforo GON COULIBALY-Côte d'Ivoire, kambire_sambi@yahoo.fr, 2250758127054

Résumé : *Cette étude se propose de définir, dans l'axe du glacis Bondoukou-Tanda, une dynamique et des modelés climaciques. L'hypothèse est celle de l'apparition de surfaces plus récentes ayant pu être réalisées par les systèmes morphogéniques actuels entre des niveaux anciens observés. L'enquête morphologique, effectuée sur le terrain, a consisté à observer et mesurer d'une part les ablations et les apports le long de versants, d'autre part à examiner l'étagement et l'emboîtement des lambeaux cuirassés qui apparaissent dans des milieux très différents. Les résultats indiquent que le relief caractérisé par le développement poussé de témoins bauxitiques et les surfaces représentées par les glacis cuirassés ceinturant les collines de roches vertes, s'expliquent difficilement dans les conditions morphoclimatiques actuelles. Tandis que des surfaces fonctionnelles : bas glacis cuirassés, basses terrasses et cuirasses de plaines alluviales - avec un étalement diffus des colluvions sableuses empâtant les pentes inférieures et dans lequel apparaissent quelques éléments grossiers reliques de la moyenne surface - semblent liés aux systèmes morphogéniques actuels.*

Mots-clés *: Glacis, méridionaux, Bondoukou-Tanda, modelés climaciques*

Abstract: Dynamic and climactic landscapes aspects on eastern meridional glacis between Bondoukou and Tanda (Côte d'Ivoire northeastern). *This work aims to explore dynamics and changes of landscapes, from glacis (monoclonal mountains) between Bondoukou and Tanda region, linked to climate system. Hypothetis is that landscapes, due to current morphogenic system, appear between the oldest reliefs levels observed. Methodology consists on the one hand of observing and measuring erosion products along the glacis slopes. On the other hand, staging of surface levels with ferricret crust and their mutual relationships that appear in the various environments are examined. Results show that neither tabular mountains in melanocratic rocks with a crest and last residual bauxitic ferricret crust on top nor glacis (track of hills), characterized by great development of latericritic crust (plintite) are linked to current morphoclimatic conditions. However, glacis armed with plintite at the bottom of slops, low terraces and alluvial plains with plintite, pisolitic soil or colluvial sand soils and gravel-like texture are due to current climate systems.*

Key words: *Meridional glacis, Bondoukou-Tanda, climax, landscapes*

Introduction

La perception, telle que la reflètent les activités scientifiques, se confirme d'une rupture, dans les domaines les plus divers, liée au changement climatique. Les travaux des communautés de scientifiques et d'experts sont plus féconds et plus alarmistes sur la question des émissions de gaz à effet de serre et du stockage du carbone atmosphérique (Kambiré S. et SEKONGO Pénakalatchan Mouctar, 2025, p.1451). Entre autres, ceux de L'IRD (2015, p.75) établissent, entre la fin du XVIIIe siècle et aujourd'hui, l'augmentation de la concentration du Dioxyde de carbone (76 % des émissions) dans l'atmosphère de 40 %. Derrière le CO_2, les concentrations du méthane (CH_4), du protoxyde d'azote (N_2O) et des gaz fluorés, qui ont aussi un pouvoir échauffant important, sont respectivement de 16 %, 6% et 2%.

Le thème central dédié au changement climatique est alors la gestion des risques et des désastres atmosphériques. Le relief par contre semble beaucoup peu concerné par les questions climatiques. Et si quelques synthèses ont été tentées pour préciser l'évolution morphologique en rapport avec les oscillations climatiques, pour l'ensemble de l'Afrique de l'ouest, très peu ont porté sur le Nord-Est la Côte d'Ivoire. L'importance de l'évolution géomorphologique dans les facteurs de la pédogenèse doit tout naturellement conduire vers une étude de cette évolution afin de déterminer le cadre dans lequel se réalisent les caractéristiques des modelés actuels dans la bande du glacis méridional à l'est de la Comoé entre Bondoukou-Tanda.

Comment se définissent alors, dans les conditions morphoclimatiques actuelles, les processus d'évolution et les niveaux de surface qui se rencontrent dans cette partie du glacis de l'est ? Cette étude se propose de définir, dans la portion de l'axe du glacis méridional de l'est entre Bondoukou et Tanda, une dynamique et des modelés climaciques, c'est à-dire l'évolution actuelle du relief à l'échelle des processus et dans ses rapports avec le système climatique.

On part du postulat de l'apparition de surfaces plus récentes ayant pu être modelées par les systèmes morphogéniques actuels entre d'anciennes surfaces d'aplanissement observées.

1. Présentation

La zone étudiée, entre Bondoukou et Tanda, se situe à l'extrême sud du nord-est de la Côte d'Ivoire (figure 1). Elle s'inscrit entre 7°40' et 8°15 N et entre 2°50' et 3°30'W. Cette zone est le domaine du développement, du moins en partie, d'une large bande correspondant à l'extension méridionale du glacis de l'est ivoirien, à l'est de la Comoé. Dans la partie septentrionale du glacis - au sommet de l'interfluve entre la Volta Noire, à l'est, et la Comoé à l'ouest - le modelé, aplani, sur granite s'incline lentement à partir de 400 m d'altitude (Rougerie, 1961). Entre Bondoukou et Tanda, et jusqu'au sud-est d'Abengourou, s'élève une série de reliefs importants. Ces collines qui constituent les éléments marquants du glacis ne sont jamais très massives. Généralement individualisées, elles sont parfois chapeautées par une cuirasse sommitale qui leur donne un aspect tabulaire. C'est le cas des montagnes du massif à l'ouest de Bondoukou.

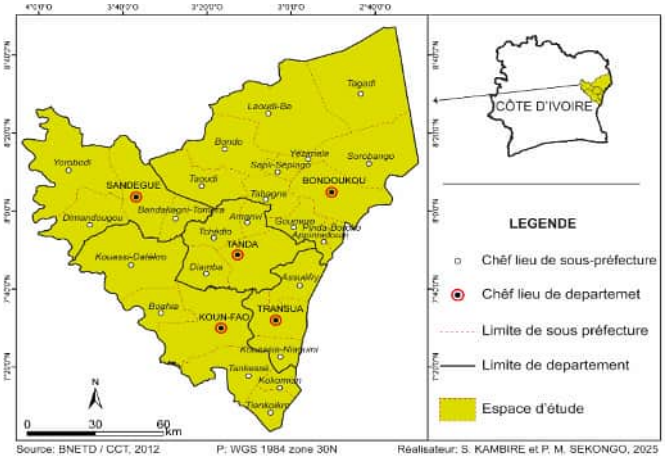


Figure 1. Région Bondoukou-Tanda ; le tracé de la portion étudiée du glacis est figuré sur la carte en rouge

La région entre Bondoukou et Tanda est comprise dans le secteur bioclimatique subsoudanais. Elle présente deux zones climatiques principales en correspondance avec les deux types de formation rencontrés : la savane préforestière guinéenne (mosaïque savane-forêt dense humide) dans la région de Tanda, la forêt claire climacique et les savanes qui en dérivent (savane boisée, arborée, arbustive) ou la forêt dense sèche, dans la région de Bondoukou (Adjanohoun E. et *al.*, 1967).

La savane préforestière guinéenne est marquée par l'existence de deux saisons des pluies : la plus intense et la plus longue présente un maximum de précipitations en juin, la plus courte enregistre son maximum pluviométrique au tour du mois d'octobre. Elles sont séparées par la petite « saison sèche » d'août à septembre. La grande saison sèche, dure en moyenne de 3 à 5 mois et est centrée sur la période de décembre à février.

En milieu de forêt claire et des savanes associées, le climat ne présente qu'une seule saison des pluies atteignant son maximum d'intensité de pluies en août. L'unique saison sèche s'étend sur 6 à 8 mois et son intensité augmente assez régulièrement avec la latitude au-delà 8° N.

2. Données et méthodes

Cette étude cartographie le relief de la région est de la Comoé, au nord-est de la Côte d'Ivoire (de Bouna à l'est d'Abengourou), en s'appuyant sur l'Atlas de Côte d'Ivoire (1969) et des cartes topographiques CIGN. Un plan topographique détaillé a été créé et intégré à l'Atlas via ArcGIS 10.3, permettant une actualisation des lignes de pente.

L'originalité des glacis méridionaux réside dans l'interaction étroite entre leur géomorphologie et leur pédologie. Les observations de terrain ont permis de reconstituer l'histoire géomorphologique de la zone et d'expliquer la formation des principaux niveaux de surface. Les processus identifiés dans ces glacis, bien que non uniques à la Côte d'Ivoire ou aux zones chaudes, sont cruciaux. La nature pétrographique des matériaux et les processus de pédogenèse fournissent des informations essentielles sur les conditions morphoclimatiques et l'évolution historique de la région. En Côte d'Ivoire, divers éléments témoignent des variations paléoclimatiques :

- En forêt, la présence de cuirasses, de nappes de gravillons et d'alluvions grossières indique des périodes plus sèches.
- En savane, l'étagement et l'emboîtement des lambeaux cuirassés, les sols tronqués et les remaniements des versants suggèrent une alternance entre climats secs et humides.
- Sur le littoral, la dissection prononcée des plateaux, la fréquence des vallées profondes et les versants abrupts s'expliquent par les conditions paléoclimatiques.

Une revue bibliographique approfondie sur la morphogenèse, la pédogenèse, les altérations, la dynamique actuelle et l'érosion en Afrique de l'Ouest a permis de cerner les conditions morphoclimatiques des niveaux de surface relevés dans le glacis méridional est, entre Bondoukou et Tanda. L'étude différencie les observations spécifiques à ce glacis de celles concernant les zones forestières et littorales.

3. Résultats

3.1. Traits dominants de la géomorphologie du Nord-Est

A l'est de la Côte d'Ivoire, les glacis méridionaux sont bien peu développés. Ils ne se résolvent, en effet, qu'à deux larges bandes de part et d'autre de la Comoé, dans la région de Ouéllé et entre Bondoukou et Abengourou.

Ces lambeaux - peu amples, plus rouges, plus cuirassés et plus proches de la surface originelle - laissent une plus grande impression de glacis. Ainsi, dans sa partie septentrionale, le lambeau subhorizontal du glacis à l'est de la Comoé s'incline progressivement à partir de 400 m d'altitude au sommet de l'interfluve entre la Volta Noire à l'est et la Comoé à l'ouest sur granite. Il passe doucement à 300 puis à 200 m d'altitude et occupent les interfluves en s'amenuisant aux environs d'Abengourou, plus au sud (figure 2). Là, sauf une amande granitique bordant le cours du Manzon, le glacis repose entièrement sur un substrat schisteux birrimien.

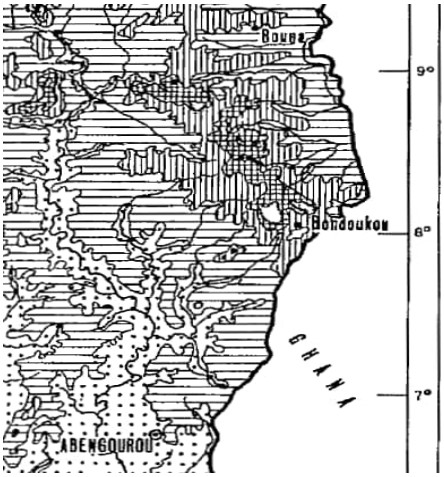


Figure 2. Carte du relief de l'est de la Côte d'Ivoire.
Source : minute A1 de l'Atlas de Côte d'Ivoire et cartes topographiques CIGN au 1/2 000 000

Entre Bondoukou et Tanda, comme l'ensemble du lambeau subaplani, le glacis méridional se caractérisent, outre sa teinte rouge, par l'exhaussement important d'une série de reliefs. Ce sont soit des pointements isolés, soit des alignements de collines rocheuses cuirassées. Véritables reliefs structuraux, ces hauteurs ne représentent, en fait, qu'une remarquable adaptation à un ensemble complexe de matériel volcano-sédimentaire ou de granites intrusifs, et culminent à plus de 700 m dans le massif à l'ouest de Bondoukou.

3.2. Unités morphologiques

La cartographie géomorphologique du glacis est de la Comoé, entre Bondoukou et Tanda, révèle quatre unités distinctes de surfaces d'aplanissement.

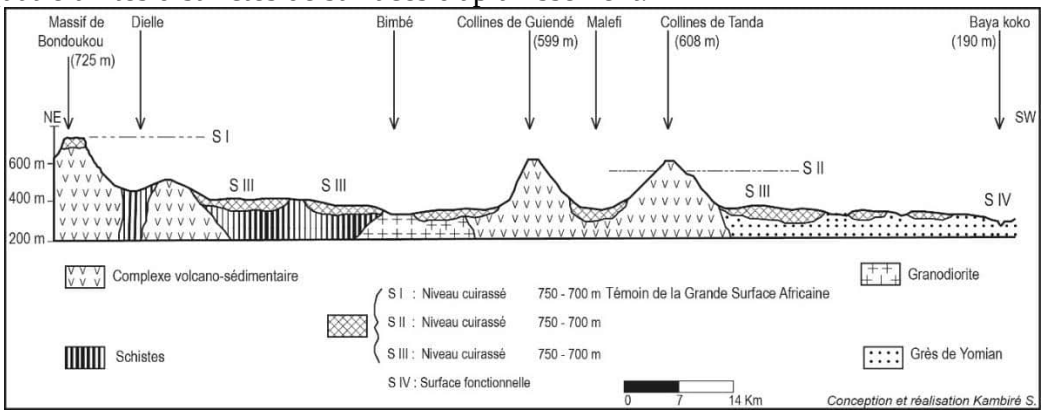


Figure 3. Coupe transversale Bondoukou-Tanda et typologie des grandes surfaces ; le tracé est figuré en rouge, sur la carte des reliefs (figure 2)

La surface S I culmine autour de 600 m (jusqu'à 725 m près de Bondoukou). Ce massif est protégé par une dalle cuirassée bauxitique, qui est en réalité une concentration d'oxydes de fer et d'alumine, conférant un aspect tabulaire. Cette unité inclut des témoins bauxitiques, des reliefs intermédiaires (400-600 m) caractérisés par des croupes subhorizontales sans traces de cuirassement apparentes, et est adaptée aux roches d'origine volcanique (métavulcanites, roches vertes, brèches, conglomérats) et métasédiments (schistes, quartzites, flysch).

La surface S II, située entre 450 et 500 m d'altitude, repose également sur un soubassement volcano-sédimentaire. Elle est formée de chaînons collinéens (Guiendé, Djaniyao, Tanda) et de buttes-témoins, ne conservant que de rares témoins cuirassés sous forme d'épaulements ou de débris sur des buttes ou glacis gréseux.

La surface S III s'étend dans du schiste, du granite ou du grès, et est représentée par des glacis cuirassés ceinturant les collines métamorphiques, avec une pente douce de 300 m à 260 m d'altitude. Enfin, la surface S IV correspond aux bas glacis et basses terrasses, plus ou

moins cuirassés, ou aux cuirasses des plaines alluviales. Bien que présente près des affluents majeurs de la Comoé, elle est particulièrement étendue (1 à 2 km) et régulière dans les bassins de la Bayakoko et de la Bayabiko. Cette unité est quasi-horizontale, avec quelques vasques inondables, mais ne présente que de très faibles traces d'induration, hormis quelques carapaces friables temporaires.

3.3. Relations entre les unités morphologiques et morphologie actuelle dérivée

Le glacis cuirassé S III présente une structure complexe marquée par une dissection en plateaux et talwegs profonds. Sa partie supérieure accumule des débris issus de l'érosion des surfaces SI et SII, comprenant principalement des éléments siliceux roulés, des blocs de cuirasse et des gravillons ferrugineux. Ces dépôts colluviaux proviennent des roches vertes et buttes-témoins gréseuses environnantes.

Les matériaux locaux montrent des degrés d'altération variables, avec des galets fragilisés et des blocs à patine luisante. Ces formations sont mieux préservées sur substrat schisteux que granitique, où elles se réduisent souvent à des reliques de bancs cuirassés et sables ferruginisés. Le système s'étend sur plusieurs kilomètres avant de passer aux bas glacis SIV, recouverts d'alluvions sablo-limoneuses sur 1 à 2 km d'extension mais fortement érodés.

3.4. Preuves des oscillations paléoclimatiques

La région Bondoukou-Tanda conserve les traces d'alternances climatiques passées à travers un étagement de surfaces caractéristiques : la Grande Surface Africaine SI, les buttes-témoins SII, les glacis cuirassés SIII et les formations récentes SIV. Les cuirasses anciennes SI, inexpliquables sous le climat actuel, contrastent avec les glacis SIII à structure bréchique et les bas glacis SIV en cours de formation.

Les coupes stratigraphiques révèlent des séquences sédimentaires distinctes : carapaces scoriacées surmontant des lentilles de graviers inclinés à 25° dans les formations récentes. La prédominance de matériel siliceux mais hétérogène, combinée à des chenaux instables, témoigne d'un transport hydrique intense sous les conditions climatiques actuelles. Ces observations confirment l'impact des oscillations paléoclimatiques sur la dynamique géomorphologique régionale.

Discussion

Les travaux de Delvigne et Grandin (1969), complétés par les recherches de Rougerie (1961), Daveau et al. (1962), King (1962) et Boulet (1968), ont permis d'établir une séquence évolutive des glacis en Côte d'Ivoire. Ces études révèlent trois surfaces anciennes principales : le niveau bauxitique (SI), le niveau intermédiaire (SII) et le haut-glacis (SIII), corrélables à l'African Surface de King (1962) d'âge éocène. Ces formations témoignent d'une longue stabilité morphoclimatique sous des paléoclimats distincts de l'actuel.

Le glacis cuirassé (SIII), associé à des conditions arides, montre un mécanisme particulier de migration lente des matériaux vers les piémonts, où ils se fossilisent sous l'action des hydroxydes métalliques lors du retour à des climats plus humides. Les observations de Rougerie dans les Monts Goma, Bouna et Katiola mettent en évidence des bas-glacis récents (SIV) caractérisés par des carapaces peu cimentées et des chenaux instables, preuves de leur formation sous les conditions climatiques actuelles.

Ces bas-glacis, bien que fonctionnels et localement importants, apparaissent comme des formations éphémères dans le paysage à long terme, comme l'a souligné Rougerie. Leur

dynamique actuelle, marquée par une alternance de phases de dissection et de colmatage, confirme leur instabilité face aux processus érosifs contemporains.e.

Conclusion

Les prospections dans le secteur Tanda-Bondoukou ont révélé une séquence géomorphologique structurée en quatre niveaux principaux. Les surfaces anciennes SI à SIII, marquées par des cuirasses bauxitiques et des glacis ferrugineux, reflètent clairement l'influence des paléoclimats. À l'inverse, les formations récentes SIV, comprenant bas glacis et plaines alluviales, résultent des dynamiques morphoclimatiques actuelles et présentent un caractère plus éphémère dans le paysage.

Ces résultats viennent enrichir les travaux antérieurs sur la morphogenèse ouest-africaine, notamment ceux de Leclerc (1945), Rougerie (1961), Daveau et al. (1962) et Delvigne & Grandin (1969). Ils confirment l'importance des héritages géomorphologiques tout en précisant les processus actuels de modelé des paysages dans cette région de la Côte d'Ivoire.

Bibliographie

ADJANOHOUN (E) et al, 1967, Inventaire floristique des forêts claires sub-soudanaises et soudanaises en Côte d'Ivoire septentrionale In annale de l'Université Abidjan, FAC, SCI, p. 89-187

BOULET R., 1968. Etude pédologique de la Haute-Volta, Région centre-nord. ORSTOM, Dakar, multigr. **351** p.

DAVEAU **S.,** LAMOTTE M., ROUGERIE G., 1962. Cuirasses et chaînes birrimiennes en Haute-Volta, *Ann.* de Géogr. sept-oct. LXXXI, **387.**

Delvigne J., Grandin G., 1969. Etude des cycles morphogénétiques et tentative de chronologie paléoclimatique dans la région granitique de Toumodi (Côte d'Ivoire). ***C.R.*** *Acad.* **Sc.** ***Paris,*** oct. Tome 269, série D, p. 1372-1375.

Institut de Recherche et de Développement (IRD), 2015. Changement climatique. Quel défit pour le sud ?, IRD Editions, 271 p.

KAMBIRE Sambi, SEKONGO Pénakalatchan Mouctar, 2025. Changement climatique et morphogenèse dans le nord de la Côte d'Ivoire : la dynamique actuelle en paysages rocheux de Ounangakaha, actes du colloque international pluridisciplinaire AWACLIM 2024, GEOPORO- Revue de Géographie du Poro, N° spécial, p. 1450-1459

KALOGA B. (1965). **Sols** et Pédogenèse dans les bassins versants des Voltas Blanche et Rouge (Cours moyens), Centre O.R.S.T.O.M. **Dakar,** Rapport ronéotypé, 23 p.

KING L.C. (1962). - Geomorphology of the earth. Oliver and Boyd, Edimbourg, 23 p.

LAMOTTE M., ROUGERIE G., 1961. Coexistence de trois types de modelés dans les chaînes quartzitiques du Nimba et de Simandou (Haute-Guinée Française). *Ann. de Géogr.* t. 328, LXI, p. 432-442.

LAMOTTE M., ROUGERIE G., 1961. Les niveaux d'érosion intérieurs dans l'Ouest Africain. *Recherches Africaines,* Conakry, n°4, p. 51-70.

LECLERC J .Ch., 1945. Structure et relief de l'Afrique Occidentale, *Et. Rhod.*, n°22, p. 149-172.

MICHEL P., 1968. Genèse et évolution de la vallée du Sénégal de Bake1 à l'embouchure (Afrique OCC.Z) eitsch.

MICHEL P., 1969. Les grandes étapes de la morphogénèse dans les bassins des fleuves Sénégal et Gambie pendant géomorph., vol. 12, no 3, pp, 318-349.

ROUGERIE G .1961. Modelés et dynamiques de savane en Guinée Orientale. ***Et. Afric*** (Conakry), n° 4, p. 24-50.

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DYNAMIQUE DES CUIRASSES FERRUGINEUSES A KARAKORO (NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE)

Sambi KAMBIRE[1], Pénakalatchan Mouctar SEKONGO[2]
1 Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo, kambire_sambi@yahoo.fr, 0758127054
2 Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo, spmouctar@gmail.com, 0546161918

Résumé : *Cette étude vise à montrer l'évolution des niveaux cuirassés dans les conditions morphogéniques actuels. La méthodologie privilégie les mesures d'érosion sur des toposéquences représentatives des paysages déterminés par le cuirassement et l'observation directe des traces d'érosion. Les résultats montrent que le détail des modelés dépend de l'évolution de trois zones notamment la surface des cuirasses, leur rebord et les bas glacis.*

Mots clés : *Nord Côte d'Ivoire, érosion des sols, dynamiques morphogéniques.*

Abstract: Dynamics and morphology of reliefs armed with ferricret crust on top in the karakoro region (Northen Côte d'Ivoire): The role of current climates. *This study aims to show evolution, linked to current morphogenic conditions, of relief level with ferricret crust on top. Methodology is based on measuring of erosion on catenas of the mains landscapes armed with plintite and observing of erosion products along slops. According to results, evolution of plintite surfaces is made mainly of glacis at the bottom of slops.*

Keywords: *Northen côte d'Ivoire, erosion of soil, Morphology.*

Introduction

Les effets immédiats des climats sont d'influencer fortement l'évolution des formes de paysages qui s'offrent comme élément vivant, à modeler pour l'érosion, et évoluant en même temps que s'exerce l'érosion (J. M. Avenard, 1971). On cherche alors à savoir, dans le secteur de Karakoro, quelles sont les unités morphologiques qui dérivent des systèmes morphogéniques actuels dans les niveaux cuirassés ?

Cette étude a pour objectif d'étudier l'évolution des reliefs influencés par le cuirassement dans le secteur de Karakoro. L'hypothèse repose sur l'évolution de deux zones dans les surfaces déterminées par la cuirasse, les rebords cuirassés et les cuirasses de nappes alluviales.

1. Données et méthodes

1.1. Situation géographique de la zone d'étude

Le secteur de Karakoro se localise entre 8°5' et 9°48'N et entre 5°25' et 5°35'W (figure 1). Le relief est fait de plateaux et croupes cuirassées développées en glacis (P. M. Sékongo, 2021).

Le climat est du type tropical à longue saison avec des maximums de précipitation situés d'août à octobre.

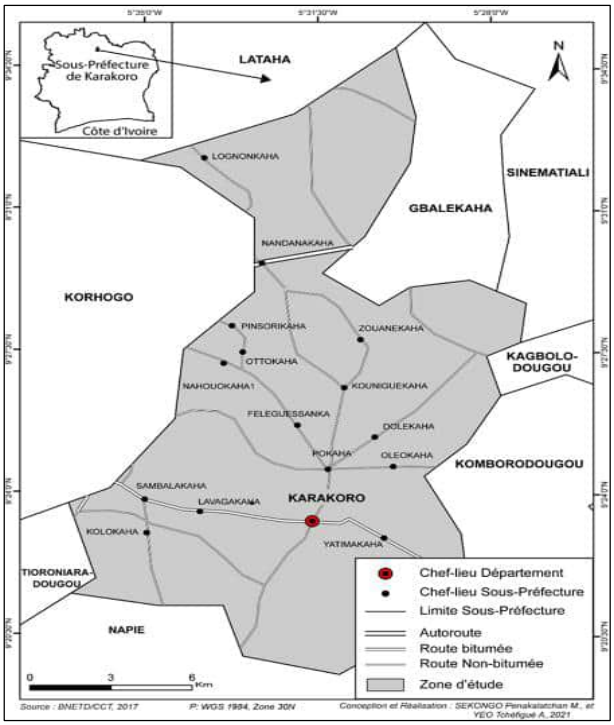


Figure 1. La sous-préfecture de Karakoro

2.2. Collecte et traitement des données

La collecte des données a consisté, d'une part, en la mesure directe de l'érosion grâce à des parcelles expérimentales aménagées le long de toposéquences représentatives des niveaux cuirassés. Ces parcelles expérimentales s'appliquent à des étendues d'une centaine de m^2, en forme de rectangle allongé dans le sens de la pente ; un fossé, ouvert à l'amont, délimite chaque parcelle tandis qu'une gouttière creusée à l'aval assure la récupération dans des bacs des matériaux transportés. Les matériaux recueillis dans les bacs sont ensuite pesés à la balance Roberval.

D'autre part, l'enquête morphologique sur le terrain allait permettre, grâce à la nature des matériaux pédologiques et aux traces d'érosion hydriques, les formes d'évolution des paysages cuirassés liée au climat actuel.

2. Résultats

2.1. Mesures d'érosion

Le tableau 1 montre les **flux sédimentaires** par type de paysage élémentaire cuirassé dans le secteur de Karakoro.

Tableau 1. **Flux sédimentaires** par type de paysage élémentaire cuirassé

Type de paysage	**Type de facette**	**Valeur de pente (en %)**	**Débits solides par intensité de pluie**	
			21 mm/h	68 mm/h
Croupe cuirassée	sommet	0 à 1	-211	-403
	haut versant	0 à 1	-275	-406
	versant	1 à 15	-890	-1650
	Bas-fond	0 à 1	2607	2677
Plateau tabulaire cuirassé	sommet	0 à 1	-275	-307
	corniche	10 à 50	-775	-820
	haut versant	5 à 10	-678	-802

	moyen versant	2 à 15	-3867	-5214
	bas versant	1 à 2	-3750	-3205
	bas-fond	0 à 1	2605	3250
	entaille	1 à 7	2698	3295
Plateau monoclinal cuirassé	sommet	0 à 1	-228	-253
	corniche	10 à 35	-617	-703
	replat	0 à 2	-3817	-5310
	haut versant	1 à 2	-2542	-4542
	moyen versant	1 à 8	2646	3740
	bas versant	0 à 1	2504	3542
	Bas-fond	0 à 2	2643	3750
	entaille et alvéole	1 à 6	1815	2001
Butte cuirassée	Sommet	0 à 1	-99	- 113
	haut versant	0 à 2	-110	201
	moyen versant	10 à 50	-3512	-3900
	bas versant	3 à 5	-3026	-3702
	Bas-fond	0 à 4	2751	2801
	entaille et alvéole	0 à 2	2051	2765
Cuirasse de plaine alluviale	bas glacis	1 à 6	3609	3707
	bas-fond	0 à 2	2404	2470
	entaille et alvéole	0 à 1	2011	2200

Source : Travaux de terrain, 2021-2025

Sur les types de facettes topographiques identifiés, les débits solides sont moins élevés sur les sommets et les replats cuirassés (moins de 400 kg/ha sous averse d'intensité inférieur à 20 mm/h et moins de 450 kg sous averse d'intensité supérieure à 20 mm/h).

Dans les bas versants, bas-fonds, entaille ou alvéole des plateaux et croupes cuirassées et les bas-glacis, bas-fonds et entailles, dans les plaines alluviales, la dynamique est plutôt trans-accumulative, plus de 2000 kg/ha. Les matériaux, qui s'étalent par abattement, proviennent, en grande partie, des haut et bas versants qui fournissent les plus gros débits solides (supérieurs à 2000 kg/ha sous pluie de d'intensité inférieure à 20 mm/h et à 3000 kg/ha pour des averses d'intensité supérieure à 20 mm/h).

Il paraît évident que différentes formes de surfaces apparaissent suivant que les mécanismes d'érosion s'exercent de manière différente en fonction des types de facettes.

2.2. Formes dérivées

L'évolution décrite est résumée dans les figures 1, 2 et 3. La cuirasse se comporte comme un banc de roche qui arme véritablement le relief. Mais la cuirasse est aussi dégradable par l'érosion. Le mécanisme se réalise par érosion régressive, soit par affouillement régressif de la base de la cuirasse et rupture de gravité successive du matériau induré (figure 2 A et 2 B).

Ce modelé détaillé influence fortement la répartition végétale et la morphogenèse.

D'un point de vue écologique, la zone de cuirasse éboulée, plus humide et aussi plus argileuse permet au liseré de forêt de s'installer.

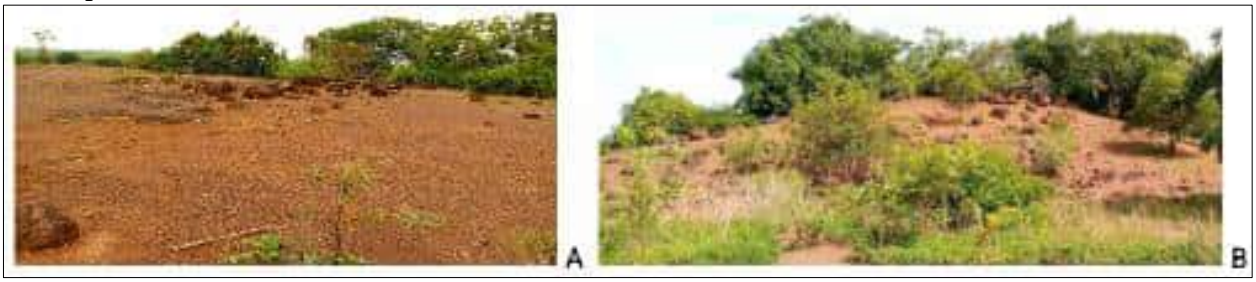


Figure 2. Erosion et évolution d'un rebord de cuirasse dans le finage de Lavononkaha au sud de Karakoro. Figure 2 A. Sommet de plateau plan-convexe, figure 2 B. Croupe cuirassée à sommet accentué

D'un point de vue morphologique, l'abattage successif des matériaux transportés et le sapement des niveaux de segment inférieurs entrainent le façonnement de type de surfaces.

Le premier type est la formation d'une topographie de nappe (figure 3). Elle s'élargit au fur et à mesure que la masse d'alluvions et colluvions graveleuses ou argileuse s'exhausse par les apports continus et massifs de matériaux et que la base du bas versant recule par altération poussée.

Si les apports siliceux sont prédominants, la nature pétrographique des apports se caractérisent par leur variété et surtout leurs aspects peu ou pas usés.

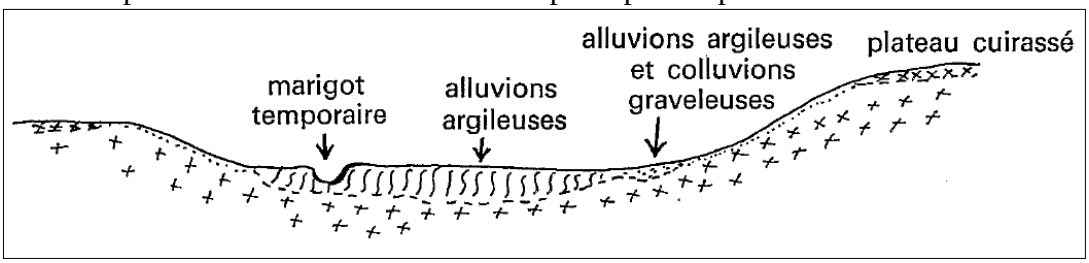
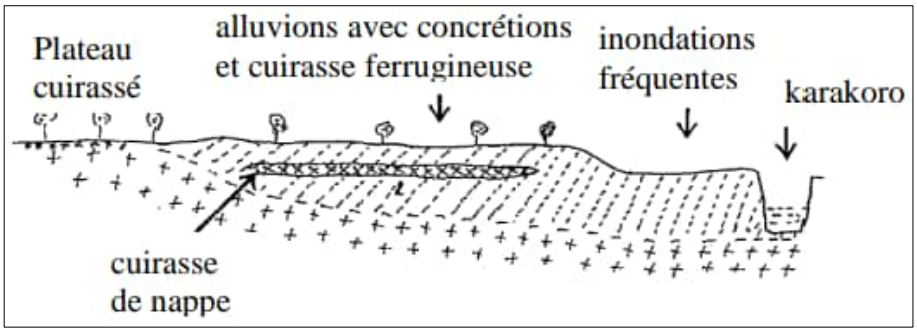


Figure 3. Formation d'une topographie de nappe dans les bas-fonds et plaines alluviales

Le second type de surface issu de l'évolution géomorphologique est celui de la formation d'une cuirasse de nappe alluviale (figure 4).

Elle se forme soit héritage des dépôts ferrugineux issus de l'érosion des topographies hautes, soit par apport des hydroxydes métalliques de la nappe phréatique ou du réseau hydrographique.

Cette cuirasse de nappe se distingue par son caractère friable qui dénote une cimentation encore récente et progressive au fur et à mesure des apports des débris cuirassés et des hydroxydes



.

Figure 4. Cuirasse de nappe alluviale à Karakoro



Figure 5. Plaine alluviale, Présence de débris ferrugineux, qui participent à l'élaboration de la cuirasse de nappe sous-jacente.

3. Discussion

Cette étude montre que les différences dans la dynamique naturelle représentent en fait une évolution différente.

Sur les sommets prédominent les processus illuviaux l'emportent dans la mesure où l'érosion y est moindre et les sols se développent plus profondément ou subsistent de périodes antérieures. S. Kambiré (2020, pp. 290-296) les fait tenir pour les plus représentatifs du type d'altération lié aux données climatiques locales.

Sur les versants, les processus d'érosion sont prééminents ; il en résulte que les sols sont tronqués par le haut, ne serait-ce que par simple reptation ou colluvionnement.

Dans les bas-fonds et les plaines, les actions mécaniques viennent se superposer aux actions physico-chimiques, tandis que l'évolution des surfaces devient une donnée importante. L'étude a révélé que les cuirasses de nappes qui se forment sont d'aspect scoriacé peu cimenté puisqu'elles sont encore friables. De plus, les matériaux pédologiques issus des apports par l'érosion et le ruissellement présentent peu d'usure dans les topographies de nappe. Ces caractères des matériaux montrent que ces deux types de surface se réalisent dans les conditions morphoclimatiques actuelles et subactuelles et sont aussi décrites par Kambiré (2024) dans la région de Bouaflé en Côte d'Ivoire.

Conclusion

L'étude a permis de mettre en évidence le façonnement des reliefs liés à l'érosion hydrique dans le domaine des reliefs influencés par le cuirassement. Ces formes, dominées par la topographie de nappe et la cuirasse de nappe alluviale, se réalisent dans les conditions morphoclimatiques actuels.

Bibliographie

Avenard J. M., 1971 **:** « Aspects de la géomorphologie ». In, *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Mémoires ORSTOM, n°50, Paris, 9-72.

Kambiré S., 2020 : « Erosion sédimentaire ou dynamique d'un écosystème équilibré en aval dans le bassin de la volta noire (Nord-Est ivoirien) ». In *Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi, Dynamiques des territoires et développement,* Université Gaston Berger, Saint-Louis- Sénégal, ISSN 0851-2515 n°24 Décembre 2020, **286-300.**

Kambiré S., 2024 : L'évolution géomorphologique et les inondations dans la vallée de Déhita, marqueurs importants du changement climatique dans le quartier périphérique de la ville de Bouaflé (Centre-Ouest ivoirien), édition en cours à physiogéo.

Sékongo P. M., 2021 : Dégradation morphogénique des paysages. L'analyse des effets induits sur la gestion paysanne des milieux dans la sous-préfecture de Karakoro en Côte d'Ivoire septentrionale, mémoire de master-Université Peleforo GON COULIBALY-Korhogo

LES INONDATIONS RÉPÉTITIVES DANS LE BASSIN VERSANT DE PÂ EN ZONE NORD-SOUDANIENNE AU BURKINA FASO

Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa KARAMBIRI[1], Korotimi SANOU[2], Françoise Valéa[3], Jean-Marie DIPAMA[3]

[1] *Institut des Sciences des Sociétés (INSS/CNRST), bienvenuechantal@gmail.com*

[2] *Université Norbert Zongo, sanoukoro77@gmail.com*

[3] *Université Joseph-Ki Zerbo, valea.francoise@gmail.com , jmdipama@gmail.com*

Résumé :*Le Burkina Faso subit les effets du changement climatique, notamment des inondations récurrentes touchant toutes ses zones climatiques, y compris la région nord-soudanienne. Cette étude a pour objectif d'analyser les causes des inondations répétées dans le bassin versant de Pâ à travers une approche quantitative. L'analyse des données pluviométriques de 1994 à 2024 et des images satellitaires de 2024 révèle une forte variabilité des précipitations, avec des années 2023 et 2024 excédentaires. La superficie du plan d'eau est passée de 80,62 ha en juin à 192,75 ha en octobre, favorisant le débordement du cours d'eau Balé. Ce phénomène a entraîné la submersion de la chaussée et perturbé le trafic entre Ouagadougou et Bobo-Dioulasso.*

Mots-Clés *: Burkina Faso, Pâ, pluviométrie, inondations.*

Abstract: The repetitive floods in the Pâ watershed in the northern Sudanese zone in Burkina Faso. Burkina Faso is experiencing the effects of climate change, with recurrent flooding affecting all its climatic zones, including the North Sudan region. The aim of this study is to analyze the causes of recurrent flooding in the Pâ watershed using a quantitative approach. Analysis of rainfall data from 1994 to 2024 and satellite images from 2024 reveals a high variability in rainfall, with surplus in 2023 and 2024. The surface area of the water body increased from 80.62 ha in June to 192.75 ha in October, causing the Balé stream to overflow its banks. This flooded the roadway, disrupting traffic between Ouagadougou and Bobo-Dioulasso.
Keywords: Burkina Faso, Pâ, rainfall, flooding.

Introduction

Les inondations figurent parmi les catastrophes naturelles les plus fréquentes à l'échelle mondiale, représentant plus du quart des grands désastres environnementaux. Elles ont constitué près de 80 % des catastrophes naturelles recensées au cours du XXe siècle (Barry, 2008). À titre d'exemple, les inondations survenues en 2007 en Afrique de l'Ouest ont frappé 14 pays, dont le Burkina Faso, et ont engendré des conséquences majeures, affectant près de 800 000 personnes (OCHA, 2009). Aucune région n'échappe à ce phénomène, et le Burkina Faso n'en est pas exempt. Selon Karambiri B. N. C. L., 2023, le pays subit régulièrement des inondations, principalement dues à des phénomènes climatiques extrêmes. L'un des événements les plus marquants demeure l'inondation du 1er septembre 2009, qui a frappé la capitale burkinabè, causant d'importantes pertes humaines et matérielles, ainsi que de nombreux blessés.

Un état des lieux des inondations a révélé une vulnérabilité particulière des bassins du Mouhoun et de la volta au cours des années 2023 et 2024. Ces crues ont entraîné des perturbations majeures du trafic routier ainsi que la destruction de nombreuses habitations.

Le bassin versant de Pâ s'est avéré particulièrement touché par des précipitations d'une intensité exceptionnelle, engendrant une montée rapide des eaux et provoquant la coupure du tronçon reliant Ouagadougou à Bobo-Dioulasso.

1. Méthodologie

1.1. Localisation et choix de la zone d'étude

Le bassin versant de Pâ est situé dans la zone nord-soudanienne du Burkina Faso. Il se localise entre la latitude 11°30'00''N, 11°45'00''N et 12°0'00''N et de longitude 3°45'0''W, 3°30'00''W et 3°15'00''W. Il couvre une superficie de 364549 hectares. L'intérêt porté pour

le bassin versant de Pâ se justifie du fait que la ville de Pâ soit un carrefour reliant plusieurs localités.

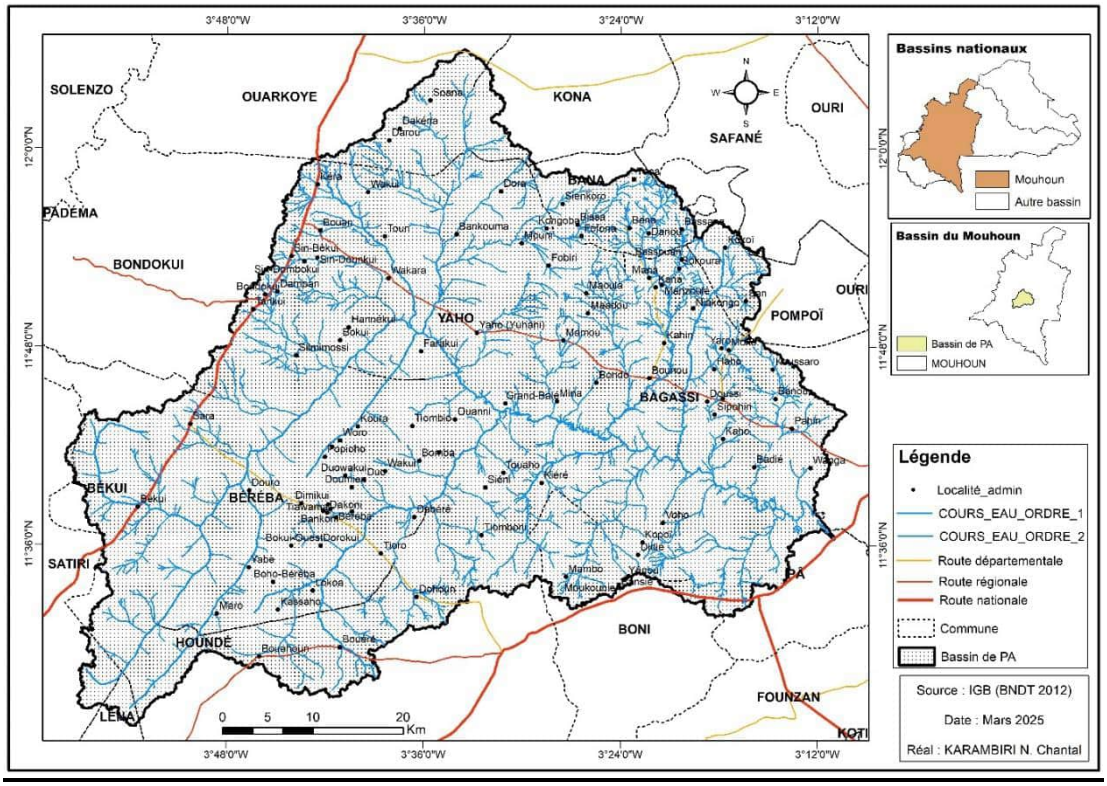


Figure 1. Localisation du bassin versant de Hérédougou

1.2. Méthode de collecte des données

Pour réaliser cette recherche, une approche quantitative a été adoptée. Des données de pluviométrie de 1994 à 2024 de la station synoptique de Boromo ont été collectées auprès de l'ANAM. Le choix de cette station s'explique par le fait qu'elle soit la station synoptique la plus proche du bassin versant de Pâ. De plus, des images du satellite sentinel de juin et d'octobre 2024 ont été téléchargées et traitées pour avoir une situation des inondations.

1.3. Méthode de traitement des images satellites

Les images sentinels du programme Copernicus, qui est un programme d'observation de la Terre de l'Union européenne, ont été privilégiés dans le cadre de cette étude. Ces données satellites sont accessibles via le site https://www.copernicus.eu/. Les images satellitaires Sentinel 2B du 27 juin 2024 et du 20 octobre 2024 ont été classifiées en unités d'occupation/utilisation des terres : savane arborée & Forêt galerie, savane arbustive, zone inondée, plan eau, champ et habitat. À cet effet, à l'aide de l'extension Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) sous le logiciel QGIS, des images multispectrales ont été produites et affichées en composition colorée Moyen infrarouge/proche infrarouge/rouge. Une classification supervisée des images multispectrales a été effectuée avec l'algorithme maximum de vraisemblance pour faire ressortir l'occupation/utilisation des terres en juin et octobre 2024.

2.Résultats

2.2. Etat des lieux des inondations

Depuis plus de deux ans, le bassin versant de Pâ est confronté à un problème de débordement. Ce débordement est lié aux fortes pluies enregistrées dans la localité. Selon une publication du Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement (21 août 2024),

la Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) invite les populations à prendre toutes les informations avant d'emprunter la RN1 (Ouagadougou- Bobo-Dioulasso). En effet, suite à un cumul pluviométrique important enregistré, le bassin versant de Pâ est inondé ; occasionnant une inondation du pont de Hèrèdougou à Pâ. Il prévient alors la population que la tendance de l'eau est à la hausse et pourrait atteindre 10 cm sur la chaussée au cours de la journée du 21 août 2024. La photo 1 montre le niveau d'eau sur la route.



Photo.1. Niveau de l'eau sur la RN1
Source : LeFaso net 27 septembre 2024 source : Wakat Séra, 21 août 2024

2.3. Les causes de l'inondation

La pluviométrie est la principale cause de l'inondation dans le bassin versant de Pâ. Selon les données pluviométriques de la station synoptique de Boromo, on constate une variation pluviométrique entre 1994 et 2024, avec souvent des années extrêmement humides. En effet, l'année 2024 a enregistré une pluviométrie excédentaire. Les 19 et 20 août 2024, le bassin versant du cours d'eau du grand Balé ayant enregistré un cumul pluviométrique important, a entrainé l'inondation du bassin versant de Pâ. Étant donné l'importance du cumul, l'eau s'est écoulée jusqu'au pont de Hèrèdougou et a provoqué son inondation. L'analyse de l'évolution de la pluviométrie moyenne annuelle dans la zone d'étude montre une variation importante de la pluviométrie. L'indice Standisée de Précipitation (ISP) révèle 15 années déficitaires contre 16 années excédentaires.

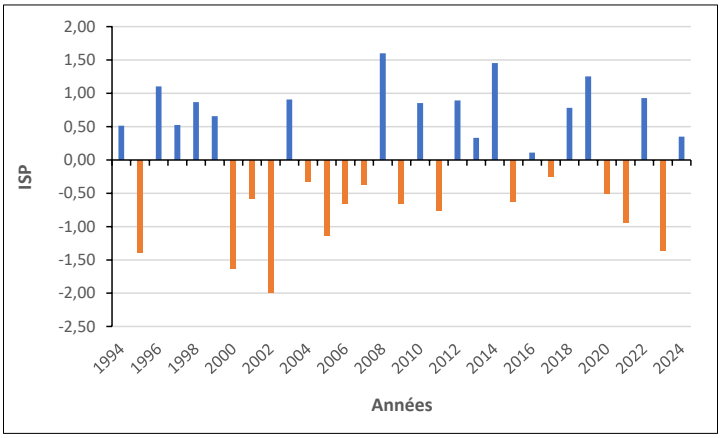


Figure 1. Evolution de la pluviométrie à la station synoptique de Boromo de 1994 à 2024

L'Indice Standardisé de Précipitations (ISP) pour l'année 2024 est de 0,35, indiquant une année proche de la normale selon l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 2012). Par conséquent, en se basant uniquement sur la pluviométrie annuelle, il serait inexact d'affirmer que celle-ci constitue l'unique facteur explicatif des inondations observées. Ces dernières pourraient plutôt résulter des précipitations particulièrement abondantes des mois précédents. À cet égard, la figure 2 illustre l'évolution de la pluviométrie durant les mois de septembre et d'octobre dans la zone d'étude.

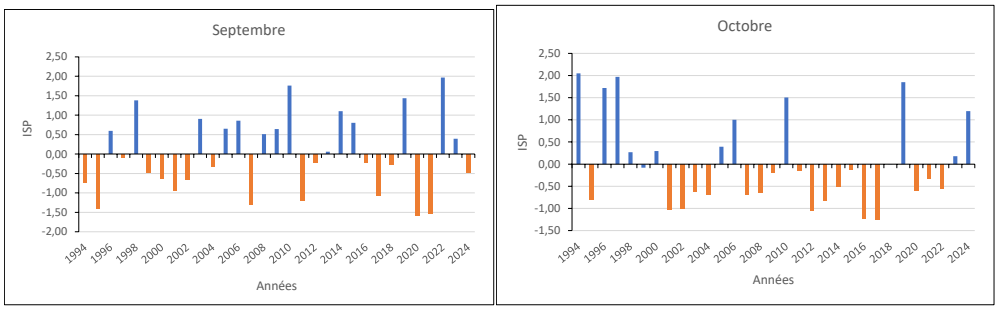


Figure 2. Evolution de l'indice standardisé des précipitations entre des mois de juillet et d'août, de 1994 à 2024 de la station synoptique de Boromo

L'analyse de la figure 1 montre qu'entre 1994 et 2024, 17 mois de septembre et 11 mois d'octobre ont été excédentaires en précipitations, tandis que 14 mois de septembre et 17 mois d'octobre ont été déficitaires. Ces résultats suggèrent que les inondations de 2022 ne peuvent pas être attribuées uniquement à une forte pluviométrie dans la région.

Cependant, certaines années se distinguent par des précipitations exceptionnellement élevées, notamment en septembre 2010 et 2022, ainsi qu'en octobre 1994. En revanche, septembre 2024 a été marqué par un déficit pluviométrique, tandis qu'octobre 2023 a connu un excédent proche de la normale. En 2024, le mois d'octobre s'est avéré particulièrement humide, avec des précipitations abondantes qui, combinées à celles des mois précédents, ont contribué aux inondations dans le bassin versant de Pâ. À cette période, le sol étant déjà saturé, l'eau n'a pas pu s'infiltrer, entraînant un ruissellement important.

En outre, l'ensablement du lit du cours d'eau Petit Balé a aggravé la situation. Par ailleurs, selon la figure 3, l'occupation des terres a connu des modifications notables entre juin et octobre 2024, ce qui pourrait également avoir influencé la dynamique hydrologique de la zone d'étude.

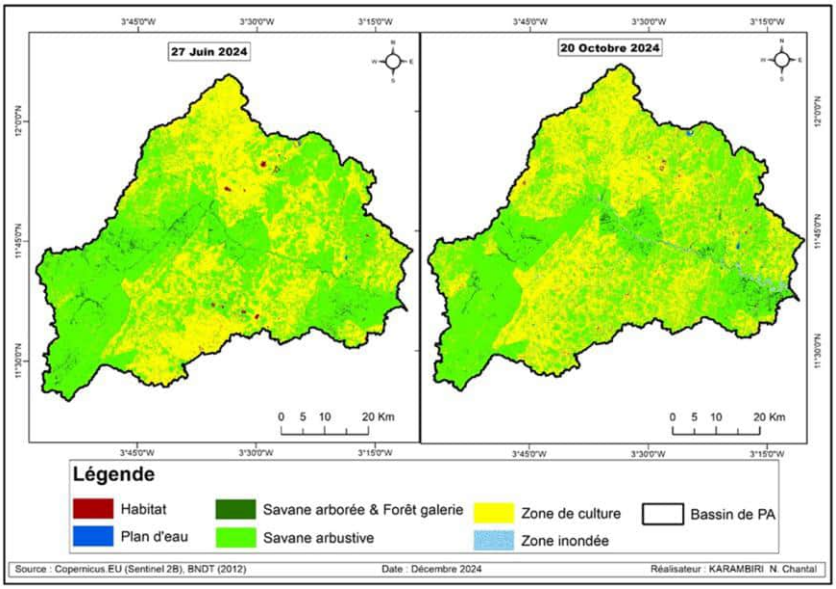


Figure 3. Zvolution des unités d'occupation des terres dans le bassin versant de Pâ

Les statistiques, issues du traitement des images, montrent que plusieurs unités ont connu une évolution progressive, d'autres par contre ont connu une évolution régressive, comme le montre le tableau 1.

Tableau 1. Superficie des unités d'occupation

Unités d'occupation	Superficie (ha) 27 Juin 2024	Pourcentages (%)	Superficie (ha) 20 Octobre 2024	Pourcentages (%)	Evolution
Savane arborée & Forêt galerie	6113,00	1,68	6485,48	1,78	0,10
Savane arbustive	212632,18	58,33	192283,72	52,75	-5,58

Zone de culture	143885,66	39,47	160433,68	44,01	4,54
Habitat	1837,54	0,50	1817,08	0,49	-0,01
Plan d'eau	80,62	0,02	192,75	0,05	0,03
Zone inondée	00	00	3336,28	0,92	0,92
Total	364549	100	364549	100	

Source : traitement des images, décembre 2024

Les résultats du traitement des images montrent que le plan d'eau est passé de 80,62 ha à 192,75 ha. Il a connu une progression de 0,03%. Cela pourrait s'expliquer par les fortes pluies enregistrées dans la localité. Le plan d'eau a débordé en occasionnant des inondations. À la date du 27 juin 2024, aucune zone inondée n'était enregistrée. Mais à la date du 20 octobre 2024, jusqu'à 3 336,28 ha avec une progression de 0,92 % de zone inondée a été observée. Cela témoigne des fortes pluies et de l'incapacité du plan d'eau à retenir une si grande quantité d'eau.

3. Discussion

La superficie occupée par le plan d'eau est passée de 80,62 ha en juin à 192,75 ha et la zone inondée, quant à elle, qui n'existait pas, est passée à 3336,28 ha. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Kabambiri B. L. C. N., 2023 dans le Sourou. En effet, selon elle, la superficie occupée par le plan d'eau a presque triplée ; entrainant la submersion des aménagements hydroagricoles. L'auteur montre que la surface en eau a connu une progression de 8 % pendant les inondations.

La station synoptique de Boromo qui couvre le bassin versant de Pâ, a connu une variation de la pluviométrie. Mais la pluviométrie de 2024 n'a pas été une pluviométrie exceptionnelle, car proche de la normale. Ce qui fait dire que les inondations ne sont pas liées seulement à une forte pluviométrie dans la zone, mais à d'autres raisons qui peuvent être l'ensablement du lit du cours d'eau Petit Balé. Ce résultat correspond à celui de Paquier A., 2015, qui a également observé des tendances similaires en France. Selon cet auteur, d'un point de vue hydraulique, à débit constant, une élévation du niveau d'eau dans un cours d'eau peut résulter d'une réduction de la capacité d'écoulement. Cette diminution peut être causée soit par une réduction de la débitance du lit mineur, soit par celle du lit majeur. Dans le cas du lit mineur, une telle réduction est généralement liée à un mauvais entretien, entraînant l'effondrement des berges, le développement excessif de la végétation ou l'accumulation de divers dépôts.

Les causes des inondations d'un cours d'eau sont liées à la pluviométrie, mais surtout à d'autres facteurs. Lorsque le sol est déjà gorgé d'eau, il ne peut plus absorber les précipitations supplémentaires et entraine une augmentation du ruissellement. Par conséquent, l'excédent d'eau s'écoule directement vers les rivières et autres cours d'eau, augmentant le risque d'inondation. Ce phénomène est particulièrement fréquent après des périodes de fortes précipitations ou dans les zones avec lesquelles le drainage naturel est insuffisant.

Conclusion

L'analyse menée dans cette étude met en évidence l'ampleur exceptionnelle de l'inondation de 2024 dans le bassin versant de Pâ au Burkina Faso. En l'espace de quelques mois, la superficie du plan d'eau est passée de 80,62 hectares en juin à 192,75 hectares en septembre 2024. De plus, la zone inondée, qui était auparavant inexistante, s'est étendue sur 3 336,28 hectares à la même période. Ces inondations résultent en grande partie des précipitations excédentaires enregistrées les mois précédents, qui ont saturé les sols et accru le ruissellement. L'interaction entre les facteurs climatiques et les modifications de l'environnement, notamment l'ensablement du lit du cours d'eau et les changements dans

l'occupation des terres, a également joué un rôle déterminant. Face à ces constats, il est essentiel de renforcer la gestion des risques hydrologiques dans la région en mettant en place des stratégies adaptées, telles que l'aménagement des bassins versants, l'entretien des cours d'eau et une planification résiliente aux aléas climatiques.

Bibliographie

Barry James (2008), La prévention des catastrophes : le rôle de l'UNESCO, Rapport, les presses de l'UNESCO, 50 pages

Karambiri Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa, 2023. Les inondations d'octobre et de novembre 2022 dans la vallée du Sourou au Burkina Faso, Collection PLURAXES/MONDE, Vol. 1 No 3/ Octobre 2023, ISSN Print : 2960- 0715, ISSN : 2960- 0723, Dossier 3 : Afrique / Histoire, Science politique, Relations internationales, Economie, Géographie, pp. 44-64OCHA (2009), Afrique de l'Ouest : Inondations 2009, Rapport de situation no 3 - 21 Sep 2009,

Paquier André, 2015. Causes des inondations de l'automne 2014 dans le Sud Est de la France. La Houille Blanche » in Revue internationale de l'eau, EDP Sciences, 2015, **1**, pp.5-6

BARRAGE DE OUANGOLODOUGOU ET ACTIVITÉS ANTHROPIQUES À L'AUNE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE AIC 2025

Klo Lydie KONE, Pébanagnanan David SILUE
Université Peleforo GON COULIBALY BP 128 Korhogo, Côte d'Ivoire konelydie206@gmail.com
Université Peleforo GON COULIBALY Bp 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire pebanagnanansilue@yahoo.fr

***Résumé** : Le changement climatique affecte gravement l'Afrique de l'Ouest, notamment le barrage de Ouangolodougou en Côte d'Ivoire. Les activités humaines et la variabilité climatique ont entraîné la dégradation de l'ouvrage, causant des pénuries d'eau et des impacts sur l'agriculture, la pêche et l'élevage. Les inondations et l'érosion ont contribué à son disfonctionnement. L'étude a utilisé des enquêtes et des observations pour documenter ces effets, Les résultats montrent une dégradation de la digue, des cultures et une pénurie d'eau. Des risques sanitaires sont également présents en raison des conditions évoquées soulignant ainsi la nécessité d'adaptation face au climat.*
***Mots-Clés** : variabilité climatique ; activités anthropiques ; barrages de Ouangolodougou ; Côte d'Ivoire*
***Abstract: An examination of the relationship between human activity and climate variability, as exemplified by the Ouangolodougou Dam.** Climate change is having a significant impact on West Africa, particularly on the Ouangolodougou dam in Côte d'Ivoire. The combination of human activities and climate variability has resulted in the degradation of the dam, leading to water shortages and adverse effects on agriculture, fishing, and livestock farming. The deterioration of the dam has been attributed to flooding and erosion, exacerbating the situation. A comprehensive study was conducted to document these effects, employing surveys and observations to assess the condition of the dike, the quality of crops, and the availability of water. The findings underscore the necessity for adaptation measures in the context of a changing climate, particularly in light of the associated health risks.*
***Keywords**: Climate variability; anthropogenic activities; Ouangolodougou dams; Ivory Coast*

Introduction

Le **barrage de Ouangolodougou,** situé dans le **District des Savanes,** joue un rôle stratégique dans la gestion de l'eau pour l'irrigation, l'approvisionnement en eau potable et la régulation des débits fluviaux dans cette région. Cependant, face à la **variabilité climatique croissante,** notamment les **changements dans les régimes pluviométriques** et les **périodes de sécheresse prolongées**, ce barrage se trouve confronté à des défis importants concernant la gestion de ses ressources en eau. En effet, la fluctuation des niveaux d'eau dans les réservoirs, combinée à l'intensification des **activités anthropiques**, comme l'agriculture intensive et l'exploitation des ressources naturelles, accentue la pression sur l'infrastructure et ses capacités de régulation. La gestion des **ressources en eau** et l'adaptation des **activités humaines** aux fluctuations climatiques sont devenues des enjeux primordiaux pour garantir la **durabilité** de ce barrage. Les travaux de **Yapi et al. (2020)** sur les impacts des **changements climatiques** sur les infrastructures hydrauliques en Afrique de l'Ouest ont souligné la vulnérabilité des **barrages** face aux événements climatiques extrêmes. De même, les recherches de **Coulibaly et Kone (2018)** sur les **pratiques agricoles** et la **gestion de l'eau** dans les zones semi-arides montrent que l'**agriculture irriguée** peut à la fois être une solution et un facteur d'aggravation des problèmes liés à la variabilité climatique. Le barrage de Ouangolodougou a connu les impacts liés à ce phénomène. Cela entraîne une diminution du volume d'eau disponible dans le barrage, affectant la production hydroagricole et l'irrigation. Les activités telles que l'agriculture (le maraicher), la pêche, l'élevage pratiquées sur le périmètre du barrage et les effets climatiques tels que l'érosion, les inondations ; les variations saisonnières ont participé à la dégradation de l'ouvrage de la retenue d'eau de Ouangolodougou jusqu'à causer son disfonctionnement à ce jour.

Comment les activités anthropiques et la variabilité climatique ont-elles causées le disfonctionnement de l'ouvrage hydroagricole de Ouangolodougou ? L'objectif principal de

cette étude est de montrer que le barrage de Ouangolodougou a connu des défaillances qui ont impactées aussi bien l'ouvrage que les activités de mise en valeur.

L'approche méthodologique utilisée combine plusieurs techniques de collecte de données : l'analyse documentaire, les enquêtes (par questionnaire et par entrevue) et l'observation directe sur le terrain. L'analyse documentaire a consisté à la consultation de publications se rapportant aux impacts des activités anthropiques et les assos climatiques sur les ouvrages de barrages. Leur exploitation a permis de se situer sur différents aspects des raisons fondamentales de la défaillance et les défis auxquels les usagers de ces retenues font face.

Les travaux de terrain se sont faits en une phases. L'étude s'est accentuée sur une recherche documentaire et les enquêtes de terrain à travers l'observation directe, des entretiens et l'enquête par questionnaires. Les travaux de terrain se sont faits en une phases réalisée à partir de guides d'entretien, a concerné le chef de la SODECI de Ouangolodougou, le technicien et certains agents de la SODECI. Des échanges ont eu lieu avec des usagers (éleveurs ; agriculteurs et pécheurs rencontrés sur les rives du barrage. Ces personnes nous ont des informations sur la construction de l'ouvrage, les conditions de la disparition de la digue ainsi que la ressource d'eau et enfin les conséquences de l'absence de cette ressource sur la vie des populations. Les données fournies sont qualitatives portant, entre autres, sur les types d'usages, l'impact environnemental de ces activités et les attentes des populations pour un développement durable de la ville de Ouangolodougou. Cela s'est fait en avril 2024. Nous avons utilisé un téléphone androïde de marque techno pop 8 pour les prises de vue. Un guide d'entretien connu sur Word. La carte de localisation conçu sur ARG-GIS 10.3.

Ces méthodes de travail ont permis d'avoir plusieurs résultats dont la dégradation de la digue ; la dégradation des cultures ; l'étiolement des activités diverses ; une pénurie d'eau et la présence de risques sanitaire. Cette étude cherche à analyser les effets de la **variabilité climatique** sur le barrage de Ouangolodougou, en mettant en lumière les **interactions complexes** entre les activités humaines et les ressources en eau dans un contexte de **changement climatique.**

Terminons par la présentation du département de Ouangolodougou notre zone d'étude à travers la figure 1 ci-contre



Figure 1. Présentation du département de Ouangolodougou
Source : GPH 2014_Répertoire des localités : Région du TCHOLOGO

1.) Dégradation de la digue (perte de la totalité de la ressource en eau)

La dégradation de la digue est dû principalement à une construction défectueuse et un manque d'entretien chronique du barrage. Le barrage de Ouangolodougou se trouve en plein ville entouré d'habitations ce qui l'expose aux asso de diverses activités. C'est un barrage d'addiction en eau potable et la station de traitement d'eau de la SODECI se trouve à environ 50m du barrage. Les dégradations des digues en terre des barrages africains résultent de facteurs techniques, environnementaux et anthropiques complexes. Les activités principales pratiquées sur le barrage sont entre autres : la pêche ; l'élevage et l'agriculture à travers le maraîcher. Le barrage de Ouangolodougou avec sa particularité, après une analyse détaillée et une observation de terrain, révèle quatre causes fondamentales : Conception et construction défectueuses ; Manque d'entretien chronique ; Facteurs environnementaux agressifs et la pression anthropique incontrôlées.

Le barrage de Ouangolodougou est un petit barrage construit en 1974 avec du matériel basique pour l'addiction en eau potable. Mais différentes activités s'y pratiquent telle que : la pêche, l'élevage et le maraichage. La planche 1 ci-dessous illustre bien ce fait.



Photo 1. Digue en terre du barrage de Ouangolodougou

Digue en terre du barrage de Ouangolodougou complètement cédé dû à la surexploitation



Photo 2. Barrage de Ouangolodougou en manque d'écurement

Le lit du barrage de Ouangolodougou remplie de boue et de sable car non écuré

Source : KONE Klo Lydie ; 2024

Planche1. Etat de dégradation du barrage de Ouangolodougou

La planche nous montre clairement un barrage en disfonctionnement car la disparition de la digue à occasionné la fuite totale de l'eau à travers la photo 1. De 1974 à ce jour, le barrage n'a été revisité en termes de réaménagements en vue de renouveler le matériel défaillant. Prenant en compte la digue en terre, le vieillissement du matériel de construction il a fini par céder. Le Competing-Bet 2006, p. 12 va dans le même sens lorsqu'il affirme que les Fissures

de tassement différentiel atteigne 15 cm. Aussi, une étude au Nigéria a révélé que 27% des barrages nigérians sont obstrués par des sédiments selon IJERT (2014, p. 5). La photo 2 vient montrer le manque d'entretient dont le barrage est objet.

2) Facteurs environnementaux agressifs et la pression anthropique incontrôlées

Le premier facteur est lié aux activités anthropiques à travers différente activités telles que la pêche, l'agriculture et l'élevage. La planche ci-dessous nous présente certaines activités du dit barrage.



L'utilisation de produit phytosanitaire tel que les pesticides, les fongicides, insecticides et herbicides sont ramenés dans le barrage par les eaux de ruissellement

Photo 1. Un potager sur les rives du barrage de Ouangolodougou



Cette ferme de volaille et caprins est situé en amont du barrage sur une pente. Donc les déchets sont directement déversés dans le barrage lorsqu'il pleut à travers l'eau de ruissèlement.

Photo 2. une ferme de poulet en aval du barrage de Ouangolodougou

Source : KONE Klo Lydie ; 2024

Planche 2. présence de la pratique d'élevage et d'agriculture sur le barrage de Ouangolodougou

A travers ces images, il est clair qu'il y'a une forte pression anthropique exercé sur le barrage. Dans la pratique agricole, nous avons Enracinement végétal provoquant des glissements et l'utilisation de produit phytosanitaire qui accélère l'érosion. Enracinement végétal provoquant des glissements Il y'a aussi les Exploitation illicite c'est-à-dire Creusement de galeries pour la pêche (GFDRR 2012, p. 9). Sans oublier le Vandalisme qui s'exprime par le vol de 30% des enrochements de protection (ERE-Développement 2012, p. 7).

Conclusion

Au terme de notre analyse, retenons que le barrage de Ouangolodougou est soumis à plusieurs pressions tant climatiques que anthropiques qui l'expose à des disfonctionnements.

En plus des facteurs relevés ici, nous avons aussi les canaux d'eaux usées du quartier qui sont directement reliés au barrage. Tout ces éléments ont activement participé à la destruction du barrage qui a finalement cédé en avril 2023. Comme suggestion il serait mieux de déplacer le barrage car l'emplacement même de celui-ci ne milite en sa faveur. Une sensibilisation de la population est aussi nécessaire pour des comportements respectueux de l'environnement afin d'éviter des potentiel catastrophe et aller vers un développement durable comme désiré.

Bibliographie

Diawara, M. (2019). **Dynamiques hydrologiques et pressions anthropiques sur les barrages du Sahel*.

ERE-Développement. (2012). *Audit des infrastructures hydrauliques du bassin du Logone*. Projet PNUD/GFDRR. https://www.gfdrr.org

Kolala, M., Lungu, C., & Kambole, C. (2015). The Causes of Dam Failures : A Study of Earthen Embankment Dams on the Copperbelt Province of Zambia. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(2), 298-305.

Koné, S. & Bamba, A. (2020). *Changement *climatique et ressources en eau en Côte d'Ivoire : cas du nord du pays*.

Le Competing-Bet. (2006). *Étude géotechnique du barrage de Maga*. Rapport technique pour le Ministère camerounais des ressources en eau. 45 p.

Traoré, Y. & Kouamé, KF (2017). **Gestion des barrages et impacts environnementaux en Afrique de l'Ouest*.

Umukiza, D., Niyongomba, S., & Nsengimana, J. (2023). A Review on Significance and Failure Causes of Small-Scale Irrigation Dams. *Journal of Infrastructure Planning and Engineering*, 2(2), 1-12. https://ejournal.warmadewa.ac.id

RÉVISION DES COURBES HAUTEUR-DURÉE-FRÉQUENCE POUR FAIRE FACE À L'ÉVOLUTION DES ÉVÉNEMENTS EXTRÊMES PLUVIOMÉTRIQUES EN CÔTE D'IVOIRE

Aimé KOUADIO KOUASSI[1], Jean-Emmanuel PATUREL[2], Gneneyougo Emile SORO[1]
1 LGE, Univ. Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, kaime20@hotmail.com
2 HSM, Univ. Montpellier, CNRS, IMT Mine Alès, IRD, Montpellier, France jean-emmanuel.paturel@ird.fr

Résumé : *Ce travail revisite les courbes Hauteur-Durée-Fréquence (HDF) en Côte d'Ivoire à partir de données numérisées de pluviogrammes. L'outil NUNIEAU permet un traitement automatique et objectif. Les résultats sont comparés aux courbes historiques du CIEH et de Soro, montrant des écarts significatifs, notamment pour les pluies extrêmes de courte durée. L'étude met en évidence l'impact du choix de la période de référence sur les courbes HDF et questionne la stationnarité des séries pluviométriques.*

Mots-Clés *: Pluie extrême, NUNIEAU, Hauteur-Durée-Fréquence, Stationnarité*

Abstract: Revision of height-duration-frequency curves to deal with the evolution of extreme rainfall events IN Cote d'Ivoire*. This article revisits Intensity-Duration-Frequency (IDF) curves in Côte d'Ivoire using digitized rainfall charts. The NUNIEAU tool allows for automatic and objective processing. Results are compared with historical curves from CIEH and Soro, showing notable differences, especially for short intense events. The study highlights the influence of the reference period on IDF curves and questions the stationarity of rainfall series.*

Keywords: *Extreme rainfall, NUNIEAU, IDF curves, Stationarity*

Introduction

Le changement climatique modifie profondément les régimes de précipitations, entraînant une augmentation des événements hydroclimatiques extrêmes en Afrique de l'Ouest (GIEC, 2021). En Côte d'Ivoire, les inondations constituent le principal risque climatique, exacerbées par l'urbanisation rapide et l'imperméabilisation des sols (Ayat et al., 2022). La fréquence croissante des précipitations intenses de courte durée fragilise les infrastructures urbaines et les populations. La connaissance des pluies de courte durée devient alors nécessaire. Mais elle se heurte au manque de données disponibles ou à une existence sous une forme non appropriée pour être traitée simplement.

En Afrique de l'Ouest, le dimensionnement des infrastructures hydrauliques se base sur un concept de définition d'une "pluie de projet". Les courbes HDF représentent l'évolution de la hauteur de pluie H(T,d)/intensité I(T,d) en fonction de la durée (d) de la pluie (généralement de quelques minutes à quelques heures) et de la fréquence de la pluie exprimée en période de retour (T). Les courbes HDF sont l'élément principal de la construction de ces "pluies de projet".

Depuis plusieurs décennies, des pluviographes sont installés principalement dans les stations synoptiques pour mesurer les précipitations au pas de temps infra-journalier : hier sous forme papier (pluviogrammes), aujourd'hui, plus généralement sous forme numérique, même s'il existe encore de nombreux pluviomètres enregistreurs sous forme papier. Ces pluviogrammes sont une "mine d'or" d'informations pour la connaissance scientifique. Pourtant, ces pluviogrammes restent la plupart du temps dans des armoires et ne sont que trop rarement examinés ou traités - quand ils n'ont pas été perdus ou détériorés par l'humidité, la chaleur, la poussière, les moisissures... les inondations. Il est vrai que la numérisation de ces diagrammes-papier est une tâche ardue et longue.

Cet article présente brièvement l'outil NUNIEAU conçu pour l'analyse des pluviogrammes. Les nouvelles données issues de la station synoptique d'Abidjan-aéroport sont exploitées et comparées aux données de référence en Côte d'Ivoire. L'étude porte sur l'ajustement des pluies extrêmes par différentes lois statistiques et la comparaison des courbes Hauteur-Durée-Fréquence (HDF) obtenues par Puech & Chabi-Gonni (1984), Soro (2011) et

NUNIEAU. Enfin, l'impact du choix de la période de référence sur les courbes HDF sera analysé.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'outil partenarial « International Research Network » ActNAO de l'IRD, en collaboration avec le projet FRIEND-AOC de l'UNESCO. Ce réseau vise à actualiser les méthodes et les normes hydrologiques pour une meilleure gestion des risques liés aux événements extrêmes en Afrique de l'Ouest.

1. Présentation de la zone d'étude

Cette étude s'appuie sur les observations de la station synoptique d'Abidjan-Aéroport (Port-Bouët, en rouge sur la carte) gérée par la SODEXAM via la Direction de la Météorologie Nationale (DMN). La station est une des 14 stations synoptiques que compte la Côte d'Ivoire. Elle est représentative de la zone climatique équatoriale (sud-est) (Figure 1).

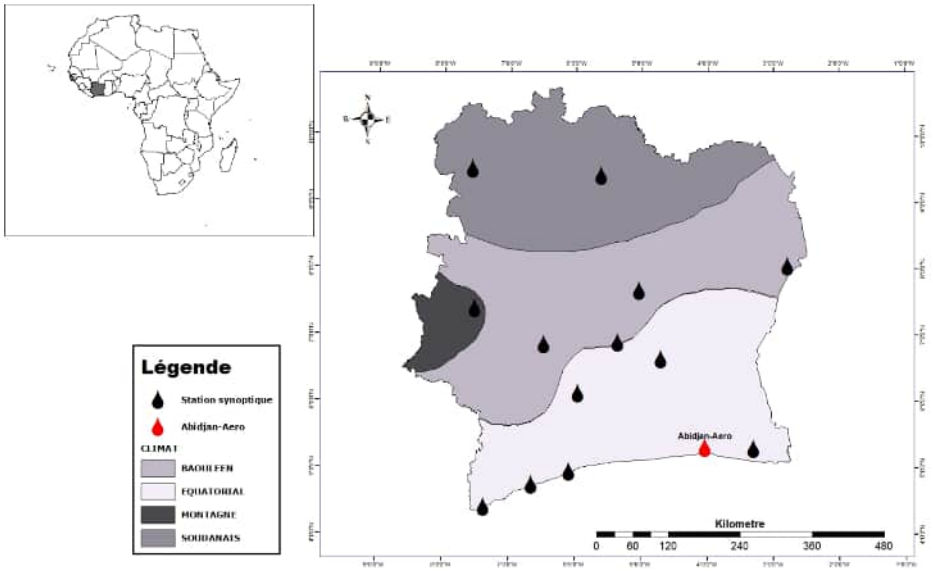


Figure 1. Climat et réseau synoptique de la Côte d'Ivoire et localisation de la station « Abidjan-Aéroport » (Goula *et al.*, 2007)

2. Données et méthodes

2.1 Données et documents anciens

La principale approche systématique concernant les courbes HDF, pour des pluies de 5 mn à 24 h en Afrique de l'Ouest et Centrale, est la publication de Puech & Chabi-Gonni (1984) du CIEH (Comité Interafricain d'Études Hydrauliques). Elle est encore utilisée par un bon nombre de bureaux d'études et d'ingénieurs du Génie Civil alors que les données utilisées sont globalement antérieures à 1982.

Soro (2011) a effectué une mise à jour des courbes IDF/HDF sur le territoire de la Côte d'Ivoire en s'appuyant sur des données comprises entre 1957 et 2001.

Ces deux travaux se sont basés sur un dépouillement de pluviogrammes effectué à partir d'une sélection purement visuelle et que l'on ne peut donc pas considérer comme totalement objective : « nous n'avons relevé que les événements orageux susceptibles d'apporter des informations » (Puech & Chabi-Gonni, 1984).

2.1 Nouvelles données disponibles

La Direction de la Météorologie Nationale (DMN), intégrée à la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM) de Côte d'Ivoire, archive des données climatiques, dont des pluviogrammes. Ces derniers, une fois

analysés, fournissent des données infra-journalières. Le logiciel NUNIEAU (NUmérisation des NIveaux d'EAU) permet de numériser ces pluviogrammes pour obtenir des séries de précipitations à haute résolution temporelle (au moins 5 minutes), offrant un traitement plus objectif.

Développé par le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA) au début des années 2000, NUNIEAU numérise les diagrammes papier en données numériques. Disponible gratuitement, il identifie les pixels d'une image scannée pour déterminer la hauteur des précipitations sur une période donnée.

Des tests, incluant un contrôle visuel et la lecture des métadonnées, assurent la validité des données numérisées.

2.2. Méthodes

Les courbes HDF donnent la fréquence (ou son inverse, la période de retour) au cours d'un événement pluvieux d'une hauteur maximale moyenne pendant une certaine durée. La construction des courbes IDF en utilisant les données d'une station donnée se fait en plusieurs étapes : dépouillement des données ; constitution de l'échantillon des maxima et classement fréquentiel ; ajustement d'une loi statistique ; établissement des courbes HDF. Au cours de chacune de ces étapes, les choix de méthodes sont multiples et il n'y a aucune justification théorique à utiliser l'une plutôt que l'autre (Tableau 1).

Tableau 1. Etapes de construction des courbes HDF et choix des méthodes utilisées.

Auteurs	Période des données	Dépouillement	Echantillonnage	Ajustement statistique	Obtention d'une courbe HDF
Puech et Chabi-Gonni (CIEH)	Avant 1979 (23 ans)	Manuel	Valeurs au-dessus d'un seuil : nombre = 3 * nombre années	Loi exponentielle	Loi de Montana H : a*t^(1-b) avec a et b fonction de T (période de retour), t durée de la pluie
Soro	1957-2001 (45 ans)	Manuel	Maxima annuel	Lois GEV, Gumbel ou Log-Normale	
Etude présente	1955-2001 (47 ans)	Automatique	Les 2	Les 2	

3. Résultats

3.1. Comparaison des courbes HDF du CIEH / NUNIEAU sur la période avant 1979

La méthode d'obtention des courbes HDF est celle du CIEH. Contrairement au CIEH, nous avons fait le choix de laisser libre le paramètre b de la loi de Montana alors que le CIEH le considère comme fixe, quelle que soit la période de retour. Le CIEH ajuste une loi de Montana pour les événements d'une durée inférieure à 60 mn et un second pour ceux d'une durée supérieure à 120 mn.

Les écarts sont importants sur les événements pluvieux de durée inférieure à 60 mn mais infimes sur les durées supérieures à 120 mn (Figure 2). Les écarts sont dus à l'échantillonnage des données ; le choix des événements susceptibles d'avoir une information sur les événements extrêmes par le CIEH s'est effectué visuellement, ce qui est moins évident sur de faibles durées que sur de fortes durées ; avec le logiciel NUNIEAU ; tous les événements sont analysés.

On remarquera un saut entre les quantiles 60 et 120 mn ajustés du CIEH pour les périodes de retour 1 et 10 ans. Les valeurs des coefficients de Montana indiquées dans l'ouvrage de Puech & Chabi-Gonni (1984) nous semblent douteuses pour les pluies de durée inférieure à

60 mn car elles ne sont pas en accord avec les valeurs des quantiles ajustés avec la loi exponentielle que les auteurs reportent.

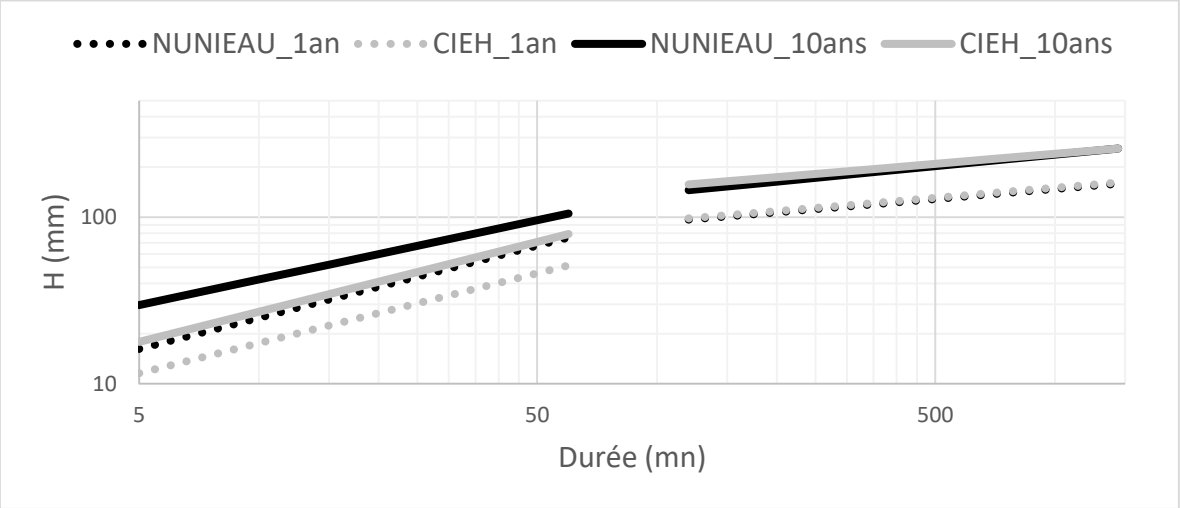


Figure 2. Courbes HDF CIEH comparées aux courbes HDF NUNIEAU sur la période 1955-1979 Abidjan-Aéro

3.2. Comparaison des résultats de Soro / NUNIEAU sur la période 1955-2001

3.2.1. Choix des Lois d'Ajustement pour les Courbes HDF des maximas annuels

La construction des courbes Hauteur-Durée-Fréquence (HDF) nécessite une sélection rigoureuse des lois de probabilité adaptées aux données de précipitations extrêmes. Bien que Soro (2011) utilise également les critères d'information d'Akaike (AIC) et de Schwarz (BIC), son approche applique systématiquement la loi Log-Normale à deux paramètres (LN2) pour toutes les durées, indépendamment des résultats obtenus avec ces critères. Par exemple, pour des durées de 15 et 30 minutes, les critères AIC et BIC privilégient respectivement les lois GEV et Gumbel, mais cette flexibilité n'est pas intégrée dans sa méthodologie.

Dans notre étude, nous avons adopté une approche plus adaptative en sélectionnant la loi d'ajustement optimale pour chaque durée spécifique à partir des valeurs minimales des critères AIC et BIC. Cette méthode a conduit aux choix suivants : la loi GEV pour les très courtes durées (15 minutes), la loi de Gumbel pour les durées intermédiaires (30 à 120 minutes), et la loi LN2 pour les durées prolongées (180 à 240 minutes). Ces critères permettent de sélectionner le modèle qui minimise l'erreur de prédiction tout en évitant le surajustement.

Cette approche différenciée garantit une modélisation plus précise des distributions de pluies extrêmes selon leur durée spécifique, améliorant ainsi la robustesse des prédictions hydrologiques.

3.2.2. Comparaison des courbes HDF de Soro / NUNIEAU sur la période 1955-2001

La figure 3 montre que pour une période de retour de 2 ans, les courbes Soro (2011) et NUNIEAU présentent une évolution similaire, avec des valeurs légèrement plus élevées pour NUNIEAU, ce qui traduit une meilleure sensibilité aux événements modérés. Pour une période de 10 ans, l'écart entre les 2 méthodes devient plus marqué : si Soro surestime légèrement les précipitations pour les très courtes durées, NUNIEAU fournit des estimations significativement plus élevées à mesure que la durée augmente, montrant que l'ajustement systématique par la loi Log-Normale utilisé par Soro tend à sous-estimer les extrêmes pour les pluies prolongées.

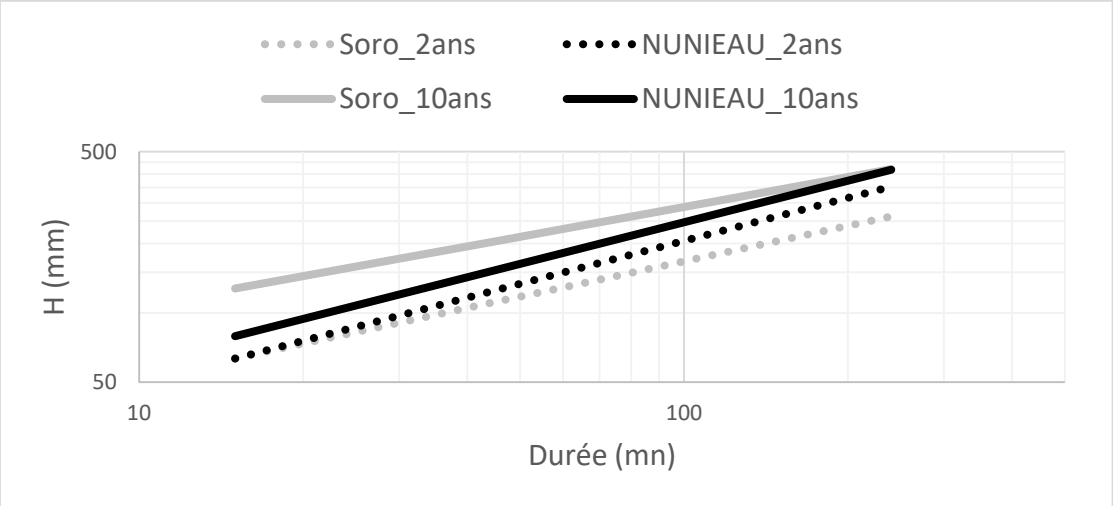


Figure 3. Courbes HDF Soro comparées aux courbes HDF NUNIEAU sur la période 1955-2001(Abidjan-Aero)

3.3. Nouvelles Courbes HDF

La période de référence est 1955-2001 pour des durées de pluie de 5 à 1440 mn (Figure 4). La méthode d'obtention des courbes HDF est celle du CIEH. Comme nous avons émis des doutes plus haut sur les valeurs des coefficients de Montana pour les pluies de durée inférieure à 60 mn. Nous n'avons pas tracé ces parties de courbes HDF. Les écarts entre les courbes CIEH et NUNIEAU sont écrasés du fait des échelles semi-logarithmiques choisies. Ils sont respectivement de l'ordre de 10% pour la période de retour de 1 an et 20% pour la période de retour 10 ans. Les valeurs du CIEH sont plus élevées que celle de NUNIEAU du fait que ce dernier a pris en compte plus d'événements de la période déficitaire de pluie après 1970.

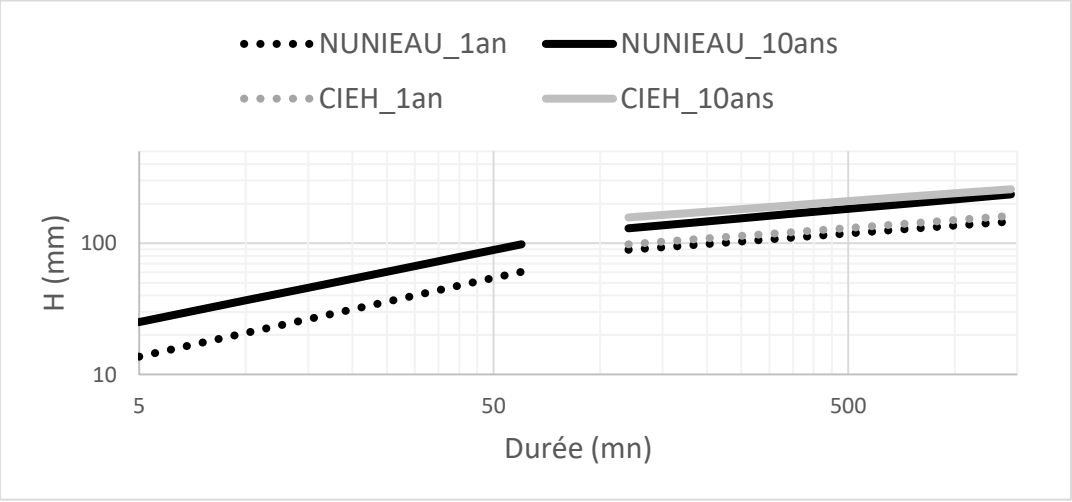


Figure 4. Courbes HDF NUNIEAU sur 1955-2001 comparée aux courbes HDF CIEH sur 1955-1979 (Abidjan-Aero)

3.4. Influence de la période de référence sur les courbes HDF

La méthode d'obtention des courbes HDF est celle du CIEH. Nous avons testé l'influence de la période de référence des courbes HDF. La période de référence 1955-2001 a été découpée en tranches de 30 années glissantes. Le résultat des estimations est affecté à l'année milieu de la chronique. La figure 5 présente l'évolution de l'estimation de la hauteur maximale de pluie des périodes de retour 1 et 10 ans pour une durée de 60 mn selon la période de référence. Les mêmes évolutions sont observées pour les autres durées de pluie et périodes de retour.

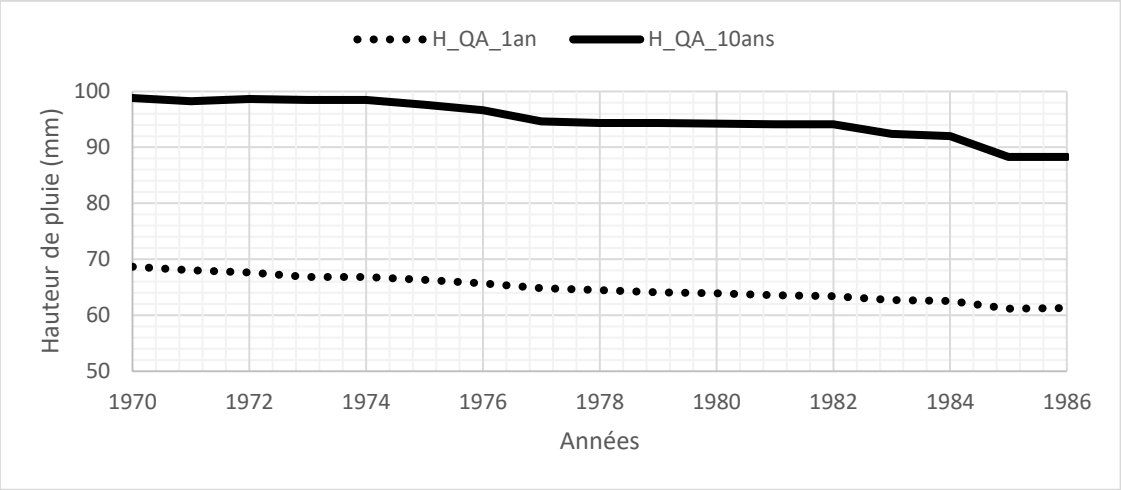


Figure 5. Évolution des quantiles de pluie estimés (1955-2001) pour un événement de pluie de durée 60 mn (Abidjan-Aero)

Conclusion

Les traitements montrent que l'utilisation de NUNIEAU permet de traiter beaucoup plus d'événements, rendant les résultats plus objectifs que ceux obtenus par Soro et le CIEH. Les valeurs des nouvelles courbes sur la période 1955-2001 pour une durée et pour une période de retour données sont plus faibles que celles du CIEH. Cette baisse des quantiles traduit une première manifestation du changement climatique en Afrique de l'Ouest. Une seconde se révèle à travers la forte sensibilité des résultats au choix de la période de référence remettant en cause l'hypothèse de stationnarité et influençant directement le dimensionnement des ouvrages hydrauliques.

Bibliographie

Ayat, H., Evans, J. P. (en anglais seulement), Sherwood, S. C., & Soderholm, J. (2022). Intensification of subhourly heavy rainfall. *Science*, *378*(6620), 655-659. https://doi.org/10.1126/science.abn8657

GIEC. (2021). *Synthèse du rapport AR6 du GIEC publié le 09/08/2021* (p. 11). GIEC.

Goula, A. B. T., Konan, B., Brou, Y. T., Issiaka, S., Fadika, V., & Srohourou, B. (2007). Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale : Cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois lognormale et de Gumbel. *Hydrological Sciences Journal*, *52*(1), 49-67.

Puech, C., & Chabi-Gonni, D. (1984). *Courbes hauteur de pluie - duree - frequence afrique de l'ouest et centrale pour des pluies de 5 minutes a 24 heureS* (No. 61505; p. 97). CIEH.

Soro, G. E. (2011). *Modelisation statistique des pluies extremes en RCI*. Université NANGUI Abrogoua.

CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION AU MOYEN DES SIG ET DE LA TÉLÉDÉTECTION DANS L'ARRONDISSEMENT DE GODOMEY (COMMUNE D'ABOMEY – CALAVI)

Naboua KOUHOUNDJI [1 & 7], Codjo Clément GNIMADI [2], Abdoulaye FATY [3], Côlman Charles HOUNTON [4], Sahadou ALIOU MANMAN [5], Expédit Wilfried VISSIN [6]

[1] Université d'Abomey-Calavi, Laboratoire de l'Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau (LHME), kouhoundjiab@gmail.com
[2] Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS)
[3] Université Cheikh Anta Diop (UCAD), École doctorale Eau, Qualité et Usages de l'eau (EDEQUE), abdoulaye.faty@ucad.edu.sn
[4] Université de Parakou
[5] Université d'Abomey-Calavi, Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications (CIPMA)
[6] Université d'Abomey-Calavi, Institut du Cadre de Vie (ICAV)
[7] Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche

Résumé *: Les inondations sont des phénomènes naturels parmi les plus dévastateurs au monde, et font de nombreuses victimes (pertes en vies humaines et dégâts matériels). L'objectif de cette recherche est de cartographier les risques d'inondation dans l'Arrondissement de Godomey. Cette cartographie est basée sur une analyse multicritère intégrant les facteurs liés aux inondations. Il ressort de cette étude que la pente est généralement faible dans l'arrondissement de Godomey, à l'exception de la dépression Djonou (quartier Gbègnigan). Les niveaux de risque d'inondation les plus élevés s'identifient dans des zones à forte agglomération. L'analyse des résultats indique que les risques élevés couvrent environ 40,83 % de la superficie de l'arrondissement contre 39,51 % pour les risques faibles.*

Mots-Clés *: Cartographie, Télédétection, Risque d'inondation, Godomey.*

Abstract : *Floods are among the most devastating natural phenomena in the world, causing many casualties (loss of life and material damage). The objective of this research is to map flood risks in the Godomey District. This mapping is based on a multi-criteria analysis integrating flood-related factors. This study shows that the slope is generally low in the Godomey District, except for the Djonou depression (Gbègnigan quarter). The highest flood risk levels are identified in areas with high population density. The analysis of the results indicates that high risks cover approximately 40.83% of the district's area compared to 39.51% for low risks.*

Keywords*: Mapping, Remote sensing, Flood risk, Godomey.*

Introduction

Les inondations sont l'une des catastrophes naturelles ayant chaque année un impact significatif au monde. Avec plus de 2,8 milliards de personnes affectées depuis 1990 à travers le monde (EM-DAT, 2016, consulté le 17/12/2021), les inondations constituent le phénomène touchant le plus de personnes à l'échelle mondiale (UNISDR, 2015, p.18).

Au Bénin, comme dans la plupart des pays de l'Afrique de l'Ouest, les inondations sont devenues un véritable frein au développement des populations (Houndakinnou R., 2005 p.51 et Allagbé H., 2005 p.55). Les impacts de ces inondations sont considérables et englobent les dégâts matériels, humains, etc. Malheureusement, ce phénomène ne cesse de s'amplifier faisant des populations de véritables "réfugiés climatiques" dans leur propre ville (Van der Geest Kens, 2011, p.71).

La commune d'Abomey-Calavi et plus précisément le secteur d'étude, l'arrondissement de Godomey, n'est pas épargnée par cette réalité. Des cas d'écoles construites dans des zones à haut risque d'inondation sont observés dans l'arrondissement de Calavi (M. S. Aliou *et al*, 2016, p.42). Ces dernières années, les inondations qualifiées de catastrophiques ont ainsi touché l'arrondissement de Godomey. Celle survenue en juillet 2020 est apparue comme une illustration frappante. Mais ces inondations n'ont pas la même intensité dans tout

l'arrondissement. Dès lors, il s'avère nécessaire d'étudier les différents niveaux d'intensité du risque dans les localités de l'arrondissement. Ceci permettra de prendre des mesures préventives différentielles pour atténuer le risque.

1. Cadre de l'étude

L'arrondissement de Godomey fait partie des neuf arrondissements de la commune d'Abomey-Calavi. Cet arrondissement est situé entre 6°20'40''et 6°26'40'' de latitude Nord et entre 2° 13'10'' et 2°21'40'' de longitude Est (figure 1).

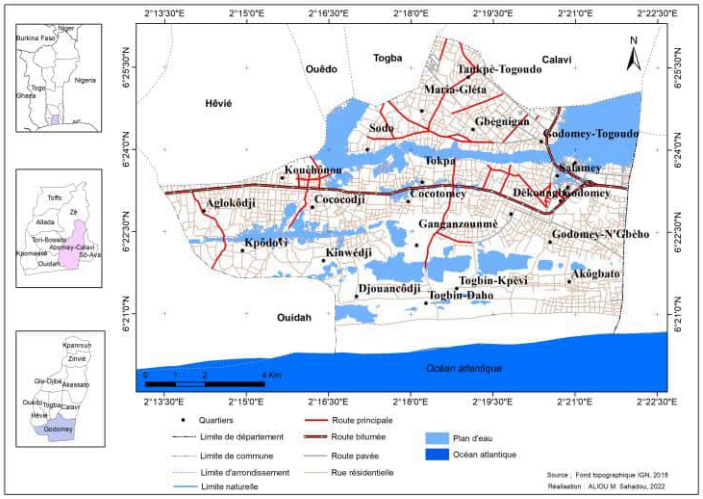


Figure 1 : Situation géographique de l'arrondissement de Godomey

L'arrondissement de Godomey toute comme la commune d'Abomey-Calavi bénéficie d'un climat de type subéquatorial à quatre saisons. La grande saison de pluie se situe dans la période d'avril à juillet, avec un pic en juin. En ce qui concerne la petite saison, elle s'observe de septembre à octobre. La petite saison sèche se caractérise par une chute de précipitations en août. La grande saison sèche se situe de novembre à mars, avec des hauteurs de pluies plus faibles (5 à 20 mm). Le régime pluviométrique est bimodal et concentré sur les mois de juin et octobre dans les deux saisons de pluie.

L'arrondissement de Godomey fait partie du bassin sédimentaire côtier du bas-Bénin avec des dénivellations moins denses. En effet, l'altimétrie de Godomey est partagée entre la plaine côtière et le rebord de plateau qui sont des éléments structurants de sa structure géologique.

2. Matériel et méthodes

L'approche méthodologique adoptée a pris en compte la collecte des données planimétriques contenant des informations sur la topographie, les données d'hydrographie, de l'occupation du sol, d'infrastructures routières et socioéconomiques sur l'arrondissement de Godomey. Les sources exploitées sont constituées des cartes topographiques obtenues à l'Institut Géographique National (IGN) Bénin, des images satellitaires.

2.1. Collecte de données

Une enquête pour la collecte des données sur le terrain a permis d'apprécier le niveau d'inondation du territoire de l'arrondissement de Godomey. Cela a aussi permis de prendre des photographies des cas d'inondations rencontrées au moyen d'appareils photographiques. L'échantillon est constitué de 126 personnes.

Les données sur la topographie, l'hydrographie, l'occupation du sol, les infrastructures routières couvrant la zone d'étude sont extraites des modèles numériques de terrain (MNT) et des images Landsat 8 OLI.

2.2. Traitement des données et analyse des résultats

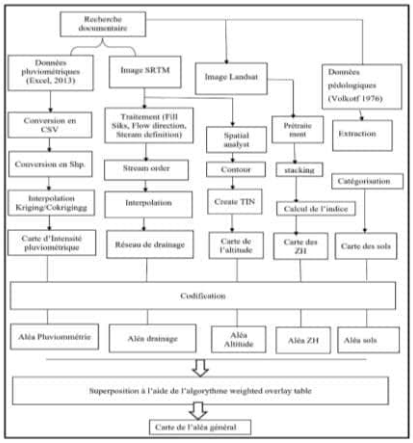


Figure 2 : Diagramme méthodologique pour la cartographie de l'aléa

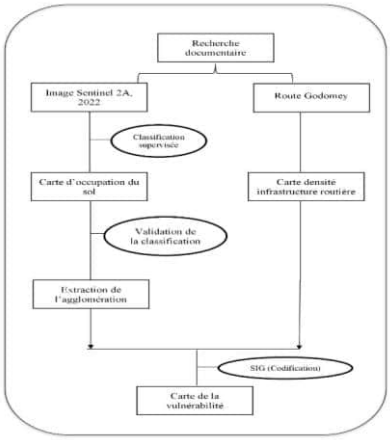


Figure 3 : Diagramme méthodologique pour la cartographie de la vulnérabilité

Le traitement des données a consisté a déterminé l'aléa pluie et la vulnérabilité de l'arrondissement de Godomey à l'inondation. La démarche méthodologique pour la détermination des risques d'inondation est présentée dans les diagrammes suivants (Figure 2 et Figure 3).

La Figure 2 montre cinq principaux facteurs considérés dans cette étude pour la cartographie des aléas. Les aléas y relatifs sont énoncés avec la démarche de leur calcul. Il s'agit de : (i) aléa lié aux précipitations (pluviométrie) ; (ii) Aléa lié au drainage ; (iii); aléa lié au relief (altitude) ; (iv) aléa lié aux zones humides ZH (indice d'humidité du sol) ; (v) aléa lié au sol. Une carte de synthèse des aléas a été obtenue (aléa général). La figure 3 présente la démarche adoptée pour la cartographie de la vulnérabilité. Cette dernière a été réalisée à travers l'occupation du sol issue des images Sentinel 2A.

Pour obtenir la carte du risque lié à l'inondation, il a été multipliée l'aléa général par la vulnérabilité suivant la formule : Risque = Aléa * Vulnérabilité (Oppenheimer M. M. *et al.,* 2014, p.1048).

Le traitement effectué a permis de classifier le niveau de risque à l'inondation en 5 classes réparties comme suit : Classe 1 : Risque très faible ; Classe 2 : Risque faible ; Classe 3 : Risque moyen ; Classe 4 : Risque fort ; Classe 5 : Risque très fort. De cette méthodologie, les résultats ont été obtenus et discutés.

3. Résultats et discussion

3.1. Synthèse des aléas liés à l'inondation dans le secteur d'étude

Au regard des cinq principaux facteurs d'inondation considérés dans cette étude, une carte de synthèse des aléas ci-contre a été obtenue. Les aléas concernés dans cette partie sont issus des facteurs d'inondation dans l'arrondissement de Godomey.

L'aléa lié au relief a montré une prédominance des sensibilités fortes et très fortes. Par ailleurs, ces sensibilités représentent les zones de dépressions ou les zones plus basses. S'en

est suivi la sensibilité faible qui occupait moins de superficies. La sensibilité forte représente 39,45 % de la superficie et la sensibilité très forte en occupait 46,82 %.

L'aléa lié à la densité de drainage montre une prédominance des sensibilités faibles et très faibles. La sensibilité très faible occupe 40,26 % du territoire de l'arrondissement de Godomey contre 28,92 % pour la sensibilité faible.

Quant à l'aléa lié à la précipitation, l'arrondissement de Godomey étant bien arrosé, il représente une zone vulnérable aux inondations. Les sensibilités liées à la précipitation dans cet arrondissement sont respectivement fortes (47,67 %) et très fortes (52,33 %).

L'aléa lié à l'indice d'humidité du sol montre une répartition plus ou moins égale des différentes sensibilités sur le territoire. La sensibilité très forte occupe 10,92 % de la superficie, la sensibilité faible en occupe 20,80 %.

Pour l'aléa lié au type de sol, il était distingué trois (3) types de sensibilités, à savoir la sensibilité forte, la sensibilité moyenne et la sensibilité faible. Cela implique que le secteur d'étude est dominé par des zones potentiellement humides. Cette humidité étant naturellement permanente, les inondations viennent les amplifier causant plus de dégâts. La sensibilité faible du type de sol couvre 32,80 % de la superficie totale de l'arrondissement de Godomey. La sensibilité moyenne couvre 59,91 % et la sensibilité forte occupe 7,29 % de la superficie.

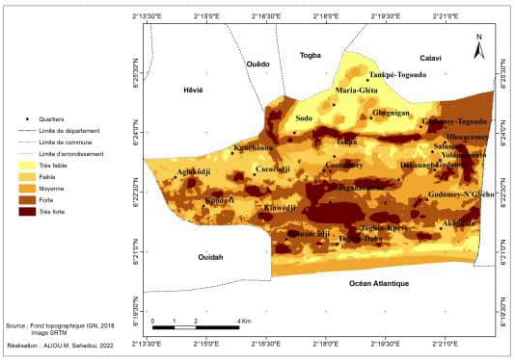


Figure 4 : *Synthèse des aléas liés aux inondations dans l'Arrondissement de Godomey*

En termes de synthèse des aléas, la Figure 4, distinguait cinq niveaux de sensibilité.

Les niveaux de sensibilités présentes sur la figure 4 sont les suivants : très faible, faible, moyenne, forte et très forte. Les proportions du territoire de l'arrondissement de Godomey occupées par chaque type sensibilité étaient : (i) la sensibilité très forte, 10,92 % du territoire ; (ii) la sensibilité forte, 29,10 % du territoire ; (iii)a sensibilité moyenne, 26,60 % du territoire ; (iv) la sensibilité faible, 20,80 % du territoire ; (v) la sensibilité très faible, 12,59 % du territoire.

3.2. Sensibilité à l'inondation

Parlant des enjeux liés à l'inondation, les infrastructures (d'habitation, de marché, scolaires, etc.) sont considérées comme éléments vulnérables à l'inondation dans l'arrondissement de Godomey. Ainsi, la Figure 5 présente cinq niveaux de sensibilité à l'inondation.

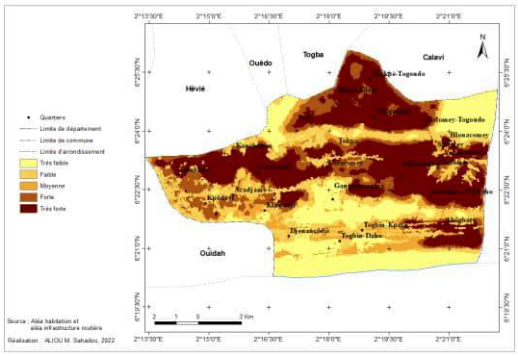


Figure 5 : *Répartition de la sensibilité des enjeux à l'inondation dans l'Arrondissement de Godomey*

L'installation humaine est un facteur déterminant des risques d'inondation dans l'arrondissement de Godomey. Elle prend en compte toutes les infrastructures sociocommunautaires. On distinguait deux types d'espaces. Il s'agit des espaces habités (infrastructures d'habitation, de marché, route, scolaires et toutes autres infrastructures sociocommunautaires) avec un taux de couverture de 56,85 % et ceux non habités (plan d'eau, les marécages) occupant 43,15 % de la superficie totale de l'arrondissement. Plus de la moitié de l'arrondissement de Godomey constitue donc un enjeu important lié au risque d'inondation. Ces résultats sont plus approfondis que ceux obtenus par Kouhoundji Naboua et *al.* (2016, p.45) dont l'étude couvrait tout le plateau d'Allada, y compris l'arrondissement de Godomey.

Dans les zones périurbaines, lorsque la population se densifie, le couvert végétal régresse ou disparait. Toutefois, des espèces isolées sont identifiées sur des parcelles non encore bâties, dans les cours ou le long des maisons. Cependant, dans la plaine côtière, le couvert végétal de Godomey est essentiellement composé des mangroves à palétuviers (*Rhyzophora racemosa*) et cocoteraies (*Cocos nucifera*), des savanes dégradées sur le plateau avec une domination de mosaïque de cultures et jachères sous palmier (*Elaeis guineensis*) et des prairies à *Paspalum vaginatum* dans les marécages.

3.3. Risque lié à l'inondation

Le risque lié à l'inondation est la combinaison de l'aléa global lié à l'inondation et de l'enjeu global lié à cette même inondation. Les différents niveaux de risque cartographiés dans l'arrondissement de Godomey sont représentés à travers la figure 6.

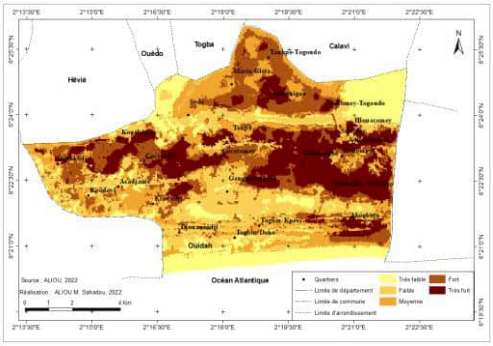


Figure 6 : *Risque à l'inondation dans l'Arrondissement de Godomey*

L'ensemble des proportions des risques élevés donnait 40,83 % de la superficie de l'arrondissement contre 39,51 % pour les risques faibles.

Les inondations observées dans l'arrondissement de Godomey sont dues aux facteurs d'ordre naturels et anthropiques. Scientifiquement, les causes des inondations peuvent être naturelles (l'abondance des précipitations, la fonte des neiges et des glaces, les températures, la géologie) et anthropique (agriculture, infrastructures, urbanisation, etc.) (Baggio S. et Rouquette M-L., 2006, p.111). Dans l'arrondissement de Godomey, ces facteurs sont liés à la topographie, aux réseaux hydrographiques, au climat, à l'humidité du sol, aux types de sols et à l'occupation du sol. En effet, le (GIEC, 2007) a déjà affirmé l'augmentation de la fréquence des inondations dans les zones côtières méditerranéennes.

L'occupation des zones de basses altitudes augmentant le risque d'inondation est le produit d'une croissance démographique galopante. C'est ce qu'illustre la planche 1.

Sur cette planche, l'on observe une rue inondée (photo de gauche). Il y est très difficile aux populations vivantes dans ces zones de vaquer à leurs occupations. Les risques de maladie sont aussi élevés. A droite de la planche, l'on observe une devanture inondée et enherbée. Les eaux rentrent dans les maisons.



Planche 1 : *Voie inondée à Godomey Togoudo (gauche) ; Cour inondée à Womey (droite)*

Ainsi, l'urbanisation se développe partout, sans que la population n'intègre le risque d'être menacée (Chocat B., 1989, p.14). À ce titre, Nicholls et al. (2008, p.80), affirmaient que l'urbanisation galopante couplée à l'évolution du climat pourrait entraîner un triplement du nombre de personnes exposées à des inondations côtières dans le monde d'ici 2070. En effet, l'expansion de l'urbanisation a tendance à se faire sur des zones inondables qui sont plus faciles d'accès et moins coûteuses pour les travaux de construction (Rifai N. *et al.*, 2014, p.62). Paradoxalement, l'urbanisation des zones inondables est rarement mise en avant comme un facteur aggravant l'inondation (Hubert G. et De Vanssay B., 2005, p.114). Outre la topographie et l'urbanisation, la dominance des sols hydromorphones contribuent au risque d'inondation à Godomey. Ceci a été explicité par Vissin Expédit Wilfried (2007, p.171), qui avait montré que l'évolution des sols dépend de l'eau pluviale et de la remontée de la nappe phréatique. Sableux en surface mais sablo-argileux, argilo-sableux ou sablo-argilo-graveleux en profondeur, ils sont imperméables (Togbé M., 2003, p.52) et caractérisés par un lessivage intense (Amoussou Ernest, 2010, p.212).

Conclusion

La cartographie des risques d'inondation de l'arrondissement de Godomey a nécessité l'utilisation de plusieurs outils et des données diverses. La carte des risques d'inondation réalisée est un outil d'alerte qui met en éveil non seulement les populations sur l'occupation de l'espace, mais également les autorités à divers niveaux dans la mise en place des politiques de développement du territoire. Il serait donc judicieux d'aménager l'espace en fonction des types de risque d'inondation afin de limiter les dégâts (noyade, destruction des biens matériels, pertes en vies humaines et bien d'autres) causés par la montée des eaux.

Remerciement : Nos remerciements vont essentiellement à l'endroit du Dr (MC) Djafarou ABDOULAYE pour sa forte contribution scientifique et aux enseignants de la CIPMA/UAC pour leurs appuis.

Bibliographie

Aliou Manman Sahadou., Sossou Mariano, Orekan Vincent. O. A., Allagbe B. Y., Agbanou T. : Contribution du SIG a l'étude de la répartition spatiale des infrastructures scolaires dans l'arrondissement de Calavi, Colloque en hommage au Professeur MICHEL BOKO, Risques et catastrophes climatiques : Vulnérabilité et adaptation en Afrique de l'Ouest, Volume 1 : Climatologie et Environnement

Allagbé Hugues, 2005. Impacts des inondations sur la santé des populations dans l'arrondissement de Godomey (Commune d'Abomey-Calavi), mémoire de DEA, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire Espace, Développement & Culture, UAC, 74 p.

Amoussou Ernest, 2010 : Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat, Université de Bourgogne France, 315p.

Baggio S. et Rouquette M-L., 2006. La représentation sociale de l'inondation : influence croisée de la proximité au risque et de l'importance de l'enjeu. Bulletin de psychologie, Volume 1, Numéro 481 : 103-117.

Chocat B., 1989. Urbanisation et inondation : phénomènes de ruissellement, causes naturelles et facteurs d'aggravation. Aménagement et nature n° 95, 13-15.

EM-DAT, 2016. Database EM-DAT : The International Disaster Database - extrait du 25/11/2016. Retrieved octobre 2015, from http://www.emdat.be/database

GIEC, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, GIEC, Genève, Suisse, 103 p.

Houndakinnou Rolande, 2005. Fréquence des événements pluvieux extrêmes et leurs impacts environnementaux dans la ville de Cotonou. Mémoire de DEA, UAC. 60 p.

Hubert G. et De Vanssay B., 2005. Le risque d'inondation et la cartographie réglementaire : Analyse de l'efficacité, des impacts et de l'appropriation locale de la politique de prévention. Programme de recherche « Evaluation et prise en compte des risques naturels et technologiques », Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 188 p.

INSAE, 1979. La population de l'atlantique, villages et quartiers de ville (Cartes de Districts), 54 p.

INSAE, 1992. La population de l'atlantique, villages et quartiers de ville (Cartes de Sous-Préfectures), 55 p.

INSAE, 2002. Cahier des villages et quartiers de ville Département de l'Atlantique, Direction des Etudes Démographiques, Cotonou, 34 p.

INSAE, 2013. Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Benin (RGPH-4, 2013), 85 p.

KOUHOUNDJI Naboua, SINTONDJI Luc Olivier, VISSIN Expédit Wilfried, AGBAHUNGBA Georges Armand, 2016: Geostatistical analysis of rainfall variability on the plateau of Allada in South Benin. In Int. Journal of Engineering Research and Applications www.ijera.com ISSN: 2248-9622, Vol. 6, Issue 2, (Part - 4) February 2016, pp.42-48.

Nicholls R. J., Hoozemans F. M. J. et Marchand M., 1999. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses, Global Environemtnal Change, Vol.9, Sup.1; pp.69-87.

Oppenheimer, M., M. Campos, R. Warren, J. Birkmann, G. Luber, B. O'Neill, and K. Takahashi, 2014: Emergent risks and key vulnerabilities. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1039-1099,

Rifai N., Khattabi A. et Rhazi L., 2014. Modélisation des crues des rivières pour la gestion intégrée du risque d'inondation : cas du bassin versant de Tahaddart (nord-ouest du Maroc). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 27(1) : 57–69. https://doi.org/10.7202/1021982ar

Togbé M., 2003. Dynamique de l'environnement : cas de Tchètti Doumè. Mémoire de maîtrise, DGAT/FLASH/UAC, 75 p.

Tonou Théophile, 2007. Analyse du mécanisme de mobilisation des ressources par les municipalités : cas de la Commune de Abomey-Abomey-Calavi, pp. 18-26.

UNISDR, 2015. Cadre d'action de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes, pp. 2015-2030.

Van der Geest, Kens. (2011). North–South migration in Ghana: What role for the environment? International Migration, 49(s1), e69–e94. https://doi.org/10.1111/j.1468-2435.2010.00645.x

Vissin Expédit Wilfried, 2007. Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat unique, Dijon, France, 285 p.

MODIFICATIONS DES PARAMETRES CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR LA PRODUCTION AGRICOLE DANS LES MASSIFS KABIYE AU NORD DU TOGO

Edjéou Kimaré LEKEZIME[1], Awa Krou MALAM BOUKAR[2], Koudzo SOKEMAWU[1]

[1]*Université de Lomé, Togo, Tél.00 228 90 16 56 16, e-mail : edjeoulek@gmail.com*

[1]*Université de Lomé, Togo, e-mail : yves.soke@yahoo.fr*

[2]*Ecole Africaine des Métiers de l'Architecture et de l'Urbanisme, Togo, e-mail : abbakrou@eameau.org*

Résumé *: Au Togo, les irrégularités saisonnières et interannuelles sont dominées par la hausse des températures et la variabilité des pluies. Les massifs kabiyè situés au Nord du Togo, sont caractérisés par des conditions physiques et humaines difficiles. Cet article a pour objectif d'analyser l'évolution des paramètres climatiques et leur manifestation sur la dynamique de la production agricole. La démarche méthodologique s'appuie sur la collecte et le traitement des données journalières des températures et de précipitations de la station météorologique de Kara de 1981 à 2022 ; auxquelles s'ajoutent celles de réanalyses ERA5 et CRU. Les données des modèles climatiques CMIP6 ont également été utilisées avec les tests de Mann Kendall et Sen's slope. Les résultats montrent une tendance à l'augmentation des températures et de la variabilité de pluies engendrant des sécheresses et des vagues de chaleur.*

Mots-clés *: Evènements climatiques extrêmes, paramètres climatiques, production agricole, massif kabiyè.*

Abstract*: **Changes in climatic parameters and their impacts on agricultural production in the kabiyè mountains in northern Togo.** In Togo, seasonal and interannual irregularities are dominated by rising temperatures and rainfall variability. The Kabiyè mountains located in northern Togo are characterized by difficult physical and human conditions. This article aims to analyze the evolution of climate parameters and their impact on agricultural production dynamics. The methodological approach relies on the collection and processing of daily temperatures and rainfall data from Kara meteorological station from 1981 to 2022, supplemented by ERA5 reanalysis data and CRU. Climate model data from CMIP6 are used with Mann Kendall and sen's slope test. The results show a trend toward increasing temperatures and rainfall variability, leading to droughts and heat waves.*

Keywords*: Extreme climate events, climatic parameters, agricultural production, Kabiyè mountains.*

Introduction

Les changements climatiques augmentent la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes comme les sècheresses, les inondations, les vents violents et les vagues de chaleur sur l'ensemble de la planète. Les massifs kabiyè au Nord du Togo ne dérogent pas à la règle et sont sujets aux irrégularités saisonnières et interannuelles très sensibles dominées par l'augmentation de la température, la diminution ou l'augmentation des précipitations ainsi qu'un décalage de saisons récurrent. Quelles sont les tendances des principales variables climatiques et leurs incidences sur la production agricole ? L'objectif de cet article est d'analyser l'évolution des paramètres climatiques et leur impact sur la dynamique de la production agricole, gage de la sécurité alimentaire pour la population.

1. Matériel et méthode

1.1 Présentation de la zone d'étude

Les massifs kabiyè se situent en pays kabiyè, et se localisent dans la chaine de l'Atakora (Région de la Kara) au nord du Togo entre 09° 25' et 10° 10' de latitude Nord et les méridiens 0° 15 et 1° 30 de longitude Est. Il est constitué par les préfectures de la Kozah et la Binah. La région est caractérisée par un climat tropical de type soudanien et d'une végétation de savanes soudano-guinéenne (Figure 1).

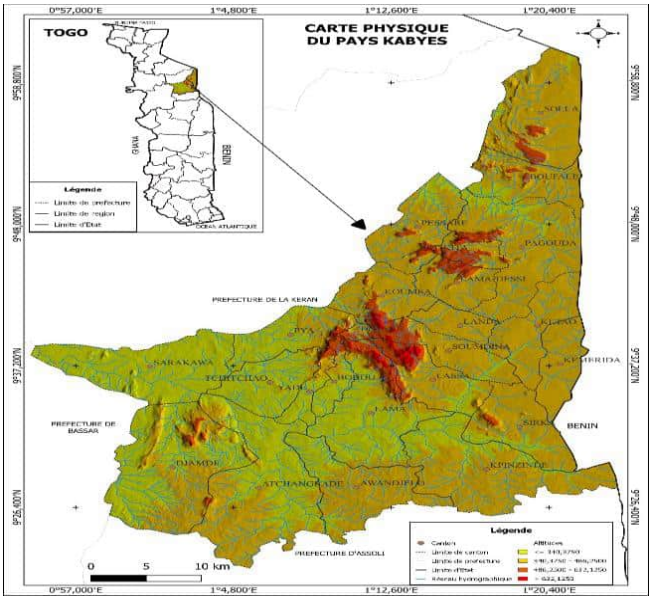


Figure 1. Zone d'étude

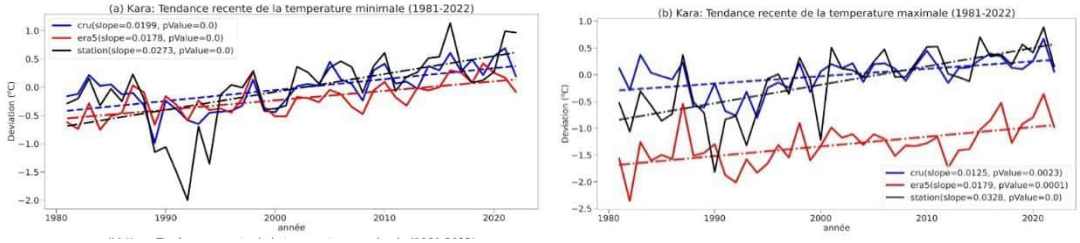
1.2 Méthodologie

Les données météorologiques journalières d'observation (pluviométrie, température maximale et température minimale) des années 1981 à 2022 de la station synoptique de Kara ont été exploitées pour l'analyse des conditions climatiques actuelles. Ces données observées proviennent de la base de données de l'Agence nationale de la météorologie du Togo. En plus des données de la station, les données de précipitations mensuelles, les températures maximale et minimale de « Climate Research Unit » (CRU, Harris et al., 2020) ont été utilisés. Les ensembles de données du CRU sont des ensembles de données de stations interpolées à une résolution spatiale de 0.5°x0.5° degré sur des points de grille global. Les données réanalysées de ECMWF Reanalysis v5 (ERA5) ont également été utilisées. Ces données ont été analysées avec le test de Mann Kendall et de *Sen's slope*. L'analyse climatique future a été réalisée à partir des projections issues de 16 modèles de circulation générale (MCG) de NEX-GDDP-CMIP6 (NASA Earth Exchange - Global Daily Downscaled Projections) avec correction de biais et avec une résolution spatiale de 0.25°. NEX-GDDP-CMIP6 se compose de scénarios climatiques mondiaux à échelle réduite dérivés des simulations de modèles de circulation générale (MCG) effectuées dans le cadre de la phase 6 du Projet de comparaison de modèles couplés (CMIP6) (Eyring et al. 2016).

2. Résultats

2.1 Dynamique récente des paramètres climatiques

La figure 2 présente l'évolution des températures minimales, maximales et des précipitations de la station de Kara entre 1981 et 2022.



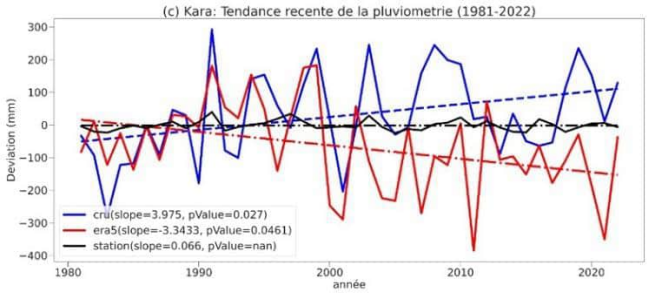


Figure 2. Tendance récente des températures minimales et maximales et des précipitations journalières

L'analyse montre une hausse significative des températures minimales pour les 3 types de données (figure 2a). La tendance est la plus marquée dans les observations de station, soit +1, 0 °C, suivie de la CRU avec une augmentation de +0,8°C et d'ERA5 (+0,7°C), toutes statistiquement significatives ($p < 0,05$) sur la période de 1981 à 2022. Cela indique un réchauffement nocturne notable dans la région. La figure 2b montre également une augmentation significative des températures maximales. Les données de la station a enregistré l'augmentation la plus forte (+1,3°C), suivie d'ERA5 (0,7°C) et de la CRU (0,5°C), avec des valeurs de p toutes inférieures à 0,05 sur la période de 1981 à 2022. Cela suggère une augmentation générale des températures sur la période étudiée. Contrairement aux températures, la pluviométrie présente des tendances différentes selon les sources (figure 2c) : CRU indique une augmentation significative du total de précipitations annuelles (+163 mm), tandis que les résultats issus de ERA5 montrent une baisse (– 137 mm). Les données de station, quant à elles, ne montrent pas de tendance claire (+2,7 mm, sur la période de 1981 à 2022). Ces résultats mettent en évidence soit une variabilité interannuelle élevée ou des limites dans la qualité et/ou la continuité des mesures locales.

2.2 Tendance projetée des températures et des précipitations à l'horizon 2021-2050

Les tendances projetées des températures et des précipitations sur le point de grille de la station de Kara entre 2021 et 2050 se basent sur les trois graphiques suivants, qui comparent les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5 (figure 3).

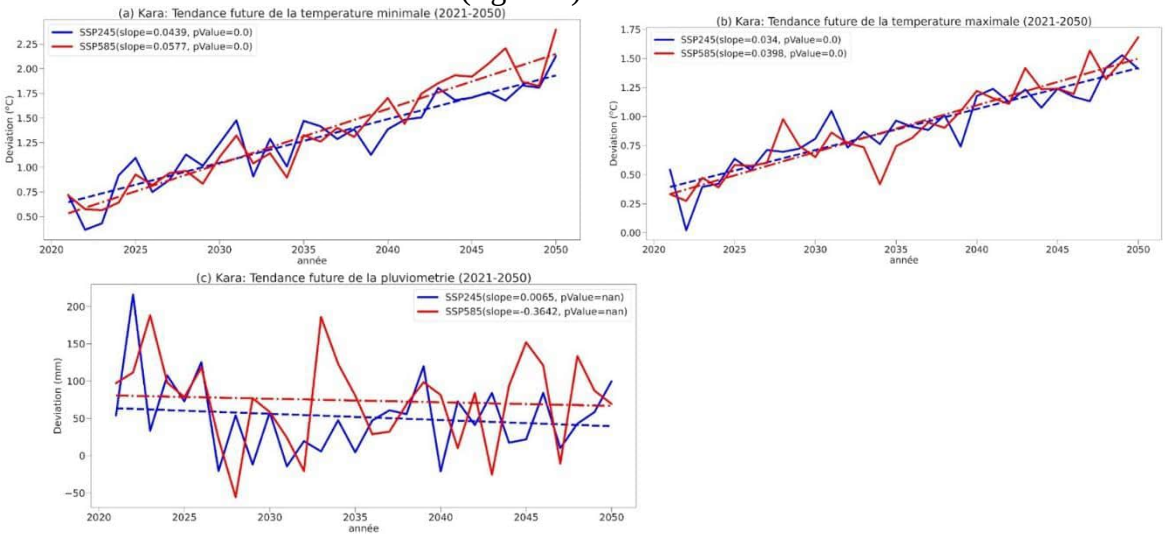


Figure 3. Tendance future des températures (minimales et maximales) et des précipitations annuelles 2021-2050

L'analyse montre l'évolution climatique par rapport à la moyenne historique de 1985–2014, servant de période de référence. Les températures minimales montrent une tendance à la hausse pour les deux scénarios (figure 3a). Cette tendance est plus marquée sous le scénario SSP5-8.5 (+1,7°C) que sous le scénario SSP2-4.5 (+1,3°C). Les résultats montrent aussi une tendance à la hausse des températures maximales : +1,1°C (SSP5-8.5) et +1°C (SSP2-4.5).

D'une manière générale, les résultats ont mis en évidence une évolution plus forte des températures minimales et maximales vers la fin de la période d'analyse. Les résultats des projections montrent une évolution des précipitations plus incertaines. Par exemple, sous SSP2-4.5, on note une légère augmentation (+0,18 mm) et une légère diminution (-10,5 mm) selon SSP5-8.5. Les déviations sont plus dispersées, oscillant autour de la moyenne historique sans tendance claire, surtout sous SSP2-4.5. Toutefois, sous SSP5-8.5, on observe une légère baisse progressive à partir des années 2030, suggérant un risque accru d'assèchement dans un contexte de réchauffement global.

2.3 Tendance future des températures et des précipitations à l'horizon 2050-2100

La figure 4 présente, les tendances futures pour les températures minimales, maximales et les précipitations sur le point de grille de la station de Kara entre 2050 et 2100 selon les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5.

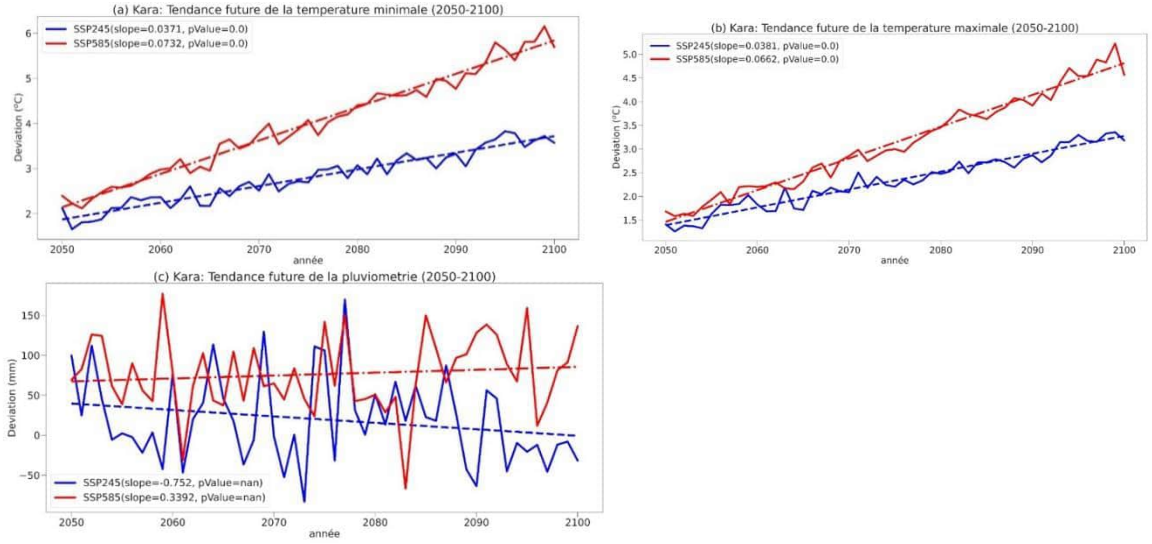


Figure 4. Tendance future des températures extrêmes et des précipitations 2050-2100

Comme pour la période 2021-2050, la tendance est à la hausse pour les températures minimale (figure 4a) et maximale (figure 4b) avec des déviations encore plus marquées par rapport à la période historique de référence (1985–2014). Les températures minimales (a) en SSP2-4.5 ont une tendance à la hausse avec (+1,8°C), significative (pValue=0.0). En SSP5-8.5, la tendance est à la hausse et plus marquée avec une augmentation de (+ 3,6°C), significative (pValue=0.0). Les températures maximales (b) connaissent également une hausse de (+1,9°C), significative (pValue=0.0) en SSP2-4.5. En SSP5-8.5, on note une augmentation plus importante avec (+ 3,3°C), significative (pValue=0.0). Les précipitations (c) sont marquées par une tendance légèrement décroissante avec (- 37,6 mm), non significative SSP2-4.5. Cette tendance est légèrement croissante avec (+16,9 mm), non significative en SSP5-8.5.

Contrairement à la période 2021–2050, où la tendance pluviométrique était légèrement décroissante sous SSP5-8.5, elle devient légèrement croissante sur la période 2050-2100. Toutefois, la dispersion demeure élevée, ce qui rend toute projection sur les précipitations incertaines.

3. Discussion et conclusion

Cette étude met en évidence une évolution des paramètres climatiques sur la période récente (1981-2022) et selon les projections climatiques futures à horizon 2050 et 2100 quelque-soit le scénario. On note plus spécifiquement une augmentation des températures (minimales et maximales avec probablement des vagues de chaleurs plus fréquentes et plus intenses) et des résultats plus aléatoires concernant l'évolution des précipitations. Ces

localités ont donc été affectées par un réchauffement thermique avec une tendance significative. La non-homogénéité des températures moyennes sur la période 1981-2020 n'est pas sans conséquence sur les limites thermiques des différentes cultures présentes dans la zone d'étude (Bedekelabou, 2024). Les analyses des précipitations observées indiquent une forte variabilité interannuelle des pluies. En pays kabiyè, d'importantes variations marquent des tendances pluviométriques d'une année à une autre et d'une station à une autre. Ce qui corrobore les résultats des travaux de Aawi, (2010). Pour mieux appréhender l'incidence du climat sur les activités agricoles, il est établi un parallèle entre les variations pluviométriques au cours de l'année et les différentes phases des activités agricoles selon le calendrier agricole en pays kabiyè. Les résultats révèlent que le calendrier agricole traditionnel ne correspond plus avec les réalités climatiques actuelles. De même les résultats de cette recherche montrent une légère reprise de la pluviométrie à partir des années 1990, après la sécheresse des années 1970 et 1980. Ce qui est similaire aux résultats des travaux de Aawi (2010) ; Adéwi (2012) et Lemou (2014) en pays Kabiyè dans la même climatique au Togo. La tendance des précipitations dans les massifs kabiyè reste incertaine et est fortement influencée par des phénomènes climatiques tels que l'oscillation atlantique ou des modifications locales du cycle hydrologique. Ce qui confirme les résultats de Kodja (2018) au Bénin en Afrique de l'Ouest. Les tendances projetées des températures et des précipitations à l'horizon 2021-2050 mettent en évidence une augmentation des températures minimales selon les deux scénarios, indiquant un réchauffement climatique. Le scénario SSP5-8.5 montre une augmentation légèrement plus intense par rapport à SSP2-4.5. Les températures maximales augmentent également selon les deux scénarios avec une augmentation légèrement plus forte selon le SSP5-8.5. Les précipitations semblent plus variables et incertaines. Le scénario SSP2-4.5 montre une légère hausse des précipitations tandis que SSP5-8.5 suggère une diminution bien que statistiquement non significative. Les tendances futures des températures et des précipitations à l'horizon 2050-2100 présentent les caractéristiques suivantes. Sous les deux scénarios, les températures minimales augmentent mais avec une hausse beaucoup plus intense selon le SSP5-8.5, représentant un futur à fortes émissions de gaz à effet de serre. Les températures maximales suivent une tendance similaire avec une hausse plus marquée dans le scénario SSP5-8.5, suggérant probablement des vagues de chaleur potentielles plus fréquentes et intenses. Contrairement aux températures, les tendances des précipitations montrent une grande variabilité interannuelle et ne sont pas statistiquement significatives. Cela indique des incertitudes plus importantes.

Les résultats de cette étude confirment un réchauffement dans les massifs kabiyè. Les précipitations montrent une variabilité élevée, et les tendances divergentes selon les sources de données. Ces résultats suggèrent une possible accentuation des extrêmes climatiques qui ont des impacts sur l'agriculture, notamment, avec le décalage des saisons, le dérèglement du calendrier agricole, la baisse de la production et des rendements et la disparition de certaines cultures. A horizon 2050 et 2100, cette analyse met en évidence la nécessité d'adopter des stratégies d'adaptation climatique dans les massifs kabiyè, en particulier selon le scénario SSP5-8.5 qui prévoit des changements plus drastiques. Néanmoins, la forte variabilité et l'absence de tendance significative au niveau des précipitations impliquent des incertitudes. Les risques accrus d'événements climatiques extrêmes, tels que des vagues de chaleur et potentiellement des périodes de sécheresse, bien que les précipitations demeurent incertaines sont attendus.

Remerciements

Nos sincères remerciements vont à l'endroit de notre directeur de thèse, le Prof Koudzo SOKEMAWU pour sa rigueur scientifique dans toutes les activités de recherches.

Bibliographiques

Aawi P., 2010: Ethnoclimatologie comme une nouvelle approche de l'étude des faits climatologiques et agricole au Togo : cas du pays kabiyè, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université de Lomé, Lomé, Togo, 304 pages.

Adewi E., Badameli K. M. S et Dubreuil V., 2010: Évolution des saisons des pluies potentiellement utiles au Togo de 1950 à 2000, Économie, vol.**7**, pp.89-107.

Bedekelabou E. E., 2020: L'agriculture familiale face à la variabilité climatique en pays kabiyè au Nord-Togo : l'enjeu de la sécurité alimentaire, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Kara, Kara, 320 pages.

Badameli K. M. S., 1996: Variabilité climatique et production agricole au Togo, Thèse de doctorat, Bordeaux III, 492 pages.

Eyring V., Bony S., Meehl G. A., Senior C. A., Stevens B., Stouffer R. J., and Taylor K. E. 2016: Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, Geosci. Model Dev., 9, 1937-1958, doi:10.5194/gmd-9-1937-2016.

Harris I., Osborn T.J, Jones P., Lister D., 2020: Version 4 of the CRU TS Monthly High-Resolution Gridded Multivariate Climate Dataset. Sci Data **7**, 109. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3.

Kodja D. J., 2018 : Indicateurs des événements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin-versant de l'Oueme à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'ouest. Université de Montpellier, Thèse de Doctorat, 287p.

Lemou F., 2014: Dynamique climatique et production agricole dans la région de la Kara (Nord Togo), Thèse de doctorat en Géographie, Université de Lomé, Lomé, 294 pages.

EVOLUTION RECENTE DES PLUIES EXTREMES ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX A LOME

Faya LEMOU

Laboratoire de Recherches Biogéographiques et d'Etudes Environnementales (LaRBE), Département de Géographie, Université de Lomé, BP : 1515. Tél : +22890084256, Mail : tchalike@gmail.com

Résumé : *La présente étude a pour objectif d'analyser l'évolution récente des pluies extrêmes et les risques environnementaux à Lomé. Les pluies journalières de 1992-2022 de l'Agence Nationale de la Météorologie du Togo ont permis d'analyser les indicateurs de l'évolution du climat à l'aide du KhronoStat 1.01. Les SPI et la classification de McKee sont utilisés. Les résultats montrent une variabilité du maximum journalier de précipitations de 48,6 à 139,6 mm. Une rupture observée en 2006, avec deux sous-périodes (1992-2000 et 2001-2022). La première est moins pluvieuse avec un écart de 66,64 mm Par rapport à la moyenne de la série. La deuxième humide avec récurrence des pluies maximales journalières. Les seuils du risque d'inondation montrent que 79,9 mm constitue le risque limité, 94,6 mm celui du risque modéré et 106,9 mm comme seuil critique.*

***Mots clés** : Evolution récente, Pluie journalière extrême, Risque d'inondation, classification de McKee, Lomé*

***Abstract: Recent trends in extreme rainfall and environmental risks in Lomé.** This study examines recent development in heavy rainfall and environmental risks in Lomé. Through the lenses of KhronoStat 1.01, the research analysed the indicators of climate variability data collected from Togo's Agence Nationale de la Météorologie from the 1992 to 2022 daily rainfall. SPI and McKee classification were also used. The study found a variability in maximum daily rainfall ranging from 48.6 to 139.6 mm. It also showed a break in 2006 with two sub-periods (1992-2000 and 2001-2022). While the first period was less rainy with a variance of 66.64 mm in comparison with the series average, the second is wet with recurring maximum daily rainfall. Flood risk thresholds show 79.9 mm as limited risk, 94.6 mm as moderate risk and 106.9 mm as critical risk.*

***Key words:** Recent trends, Extreme daily rainfall, Flood risk, McKee classification, Lomé*

1. Introduction

La variabilité pluviométrique de ces dernières années, caractérisée par l'accroissement des phénomènes climatiques extrêmes entraînant des inondations et des sécheresses dans le monde est l'une des conséquences des changements climatiques. Si à l'échelle mondiale la hausse des températures ne fait aucun doute, l'évolution de la pluviométrie, est jusqu'ici beaucoup moins évidente, du fait qu'elle est soumise à une forte variabilité spatio-temporelle. Plusieurs études sur l'évolution des précipitations ont montré que le climat est marqué par une intensification des précipitations et une récurrence des évènements extrêmes dont les inondations (Panthou et *al*., 2014). La récurrence de ces évènements pluvieux extrêmes, depuis ces dernières années, constitue l'un des principaux facteurs qui affecte aussi bien la capacité de production des écosystèmes que la société humaine (Khomsi et *al*., 2015).

Au Togo, la variabilité pluviométrique caractérisée en grande partie par des épisodes d'inondations est de plus en plus récurrentes ces deux dernières décennies (Sokemawu, 2017). La capitale Lomé est en proie aux phénomènes pluviométriques extrêmes dont l'occurrence des pluies journalières a des répercussions sur sa dynamique hydrologique. Les seuils d'aléa pluviométrique se justifient par l'inégale répartition spatio-temporelle des lames d'eau précipitées (Klassou, 2014). Le risque d'inondation est lié à l'aléa pluviométrique extrême auquel sont vulnérables les systèmes écologiques et socioéconomiques. A cet effet, il est donc important de caractériser l'évolution récente du climat (marquée d'évènements extrêmes pour un développement durable). L'objectif est d'analyser l'évolution récente des pluies extrêmes et les risques d'inondation à Lomé.

2. Méthodologie

2.1. Milieu d'étude

La capitale du Togo est située dans la partie méridionale à l'extrémité du littoral togolais. Elle est administrativement située dans la Région Maritime. La capitale Lomé est un ensemble urbain aggloméré sous le nom de « Grand Lomé » situé entre 6°8' et 6°22' latitude nord et 1°3' et 1°22' longitude est (figure 1) avec une superficie de 333 km². Avec la nouvelle répartition, elle est composée de 7 communes à Lomé et 6 à Agoènyivé.

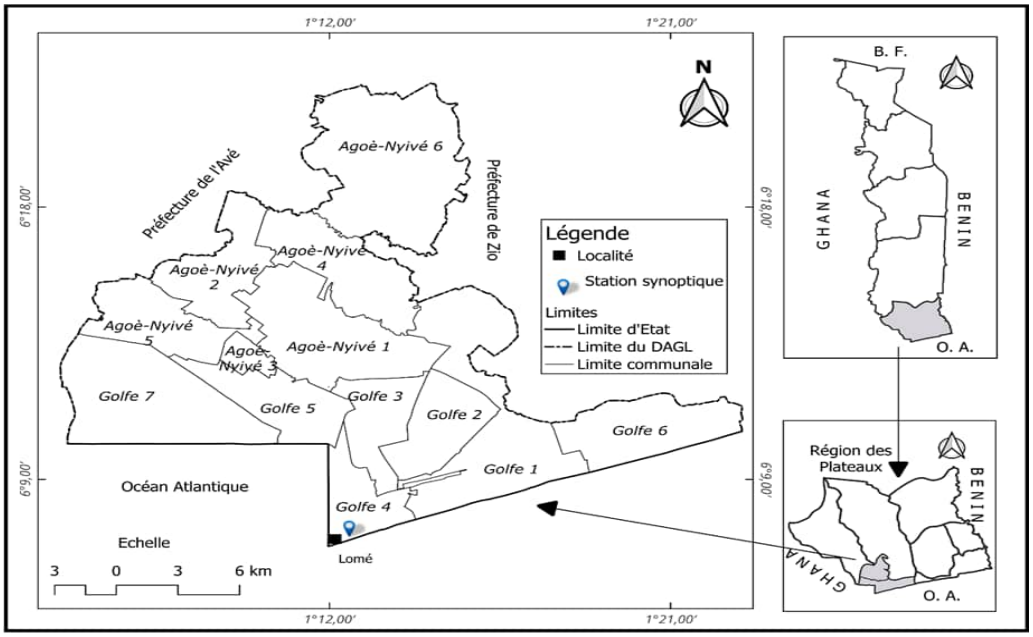


Figure 1. Localisation de la ville de Lomé
Source : DGDCN, 2011

2.2. Données

Les données de précipitations utilisées sont au pas de temps journalier. Il s'agit des relevés de pluie de la station synoptique de Lomé-aéroport de la série 1992-2022, obtenus à l'Agence Nationale de la Météorologie du Togo (ANAMET). De même, les données d'enquêtes socio-économiques ont été utilisées pour analyser les impacts environnementaux des inondations à Lomé.

3. Méthodes d'analyse

3.1. Détermination de rupture de stationnarité

La détection des ruptures de stationnarité dans les séries des pluies de 1992- 2022 a été faite à l'aide du logiciel KhronoStat 1.01, à travers le test de Pettitt qui est un test non paramétrique dérivant de celui de Mann-Whitney. Ce test, par sa robustesse à détecter une rupture dans les séries chronologiques, a été utilisé pour l'étude des fluctuations de variables climatiques (Amoussou et al., 2014). Alors (Xi) i=1 à t et t+1 à N appartient à la même population. C'est un test qui repose sur la variable Ut et N et définie par:

$$U_{t,\mathrm{N}} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{N} D_{ij}$$ où D_{ij} =sgn(xi-xj) avec sgn(Z)=1 si (Z)>0 ; 0 si Z=0 et -1 si Z<0.

3.2. Détermination des Indices Standardisés de Précipitation (SPI)

Les indices Standardisés de précipitation (Mckee et al., 1993) sont des indices utilisés dans l'évaluation des inondations (Seiler et al., 2002) et ils peuvent être assimilés à un outil pour caractériser les évènements pluvieux extrêmes à la normale. Ainsi, à partir des pluies journalières pour des échelles de temps multiples, ces indices ont été calculés. C'est le logiciel SL6 qui permet d'avoir ces échelles de temps pour les indices standardisés. Ainsi, l'indice

standardisé classique (noté Z) a été utilisé, mais avec un changement de pas de temps à l'échelle journalière.

$$Z = \frac{y - \mu}{\sigma}$$

où y est la valeur unitaire du paramètre considéré, μ et ϭ désignent respectivement la moyenne et l'écart type de la variable.

3.3. Seuils pluviométriques de risques d'inondation

Les catégories SPI (Tableau 1), ont permis de classer les valeurs maximales de précipitations journalières en termes d'aléas d'inondation, pour les différents niveaux de risques (limité, modéré, significatif et critique) dans la capitale Lomé. Cette catégorisation est fondée sur la transposition de la classification de Mckee et *al*. (1993). Par la normalisation des séries des pluies maximales journalières, ces seuils ont été déterminés. Ainsi, la correspondance a été faite en superposant les SPI aux données de pluies maximales journalières et la valeur seuil est fixée en fonction de l'intervalle des valeurs SPI et la catégorie des inondations (tableau 1).

Tableau 1 : Classification des valeurs de SPI, des catégories d'inondations et des niveaux de risques

Valeurs seuils des SPI	Catégories d'inondation	Seuils de risques
2,0 et plus	Catastrophique	Critique
1,5-1,99	Grave	Significatif
1-1,49	Négligeable	Modéré
0-0,99	Sans effet	Limité

3.4. Méthodes d'investigation sur les risques environnementaux

Les enquêtes ont été menées auprès des populations de la ville de Lomé afin de déterminer les risques environnementaux majeurs des inondations. Ainsi, un échantillon aléatoire composé de 136 personnes a été interrogé. Le logiciel SPSS a servi à faire le dépouillement du questionnaire et les fiches d'entretien. Les observations directes ont permis de compléter le questionnaire sur l'identification des risques environnementaux à Lomé.

4. Résultats

4.1. Evolution des précipitations maximales journalières à Lomé

La figure 2 illustre le test de Pettitt confirmé par Buishand appliqué à la série des pluies maximales annuelles de Lomé de 1992-2022.

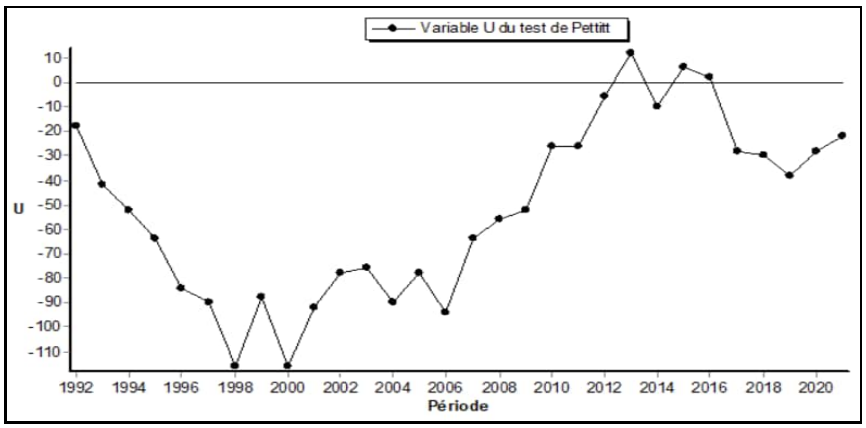


Figure 2. Test de significativité pour la rupture de stationnarité à Lomé

L'approche du test de Pettitt (figure 2), montre un changement dans l'évolution des chroniques pluviométriques avec une rupture de stationnarité en 2006. L'hypothèse nulle d'absence de rupture a été rejetée aux seuils de confiance de 99 %, 95 % et 90 % avec une probabilité de dépassement de la valeur critique de 0,005. Ce changement dans la série pluviométrique montre que la période 1992-2006 est caractérisée par une baisse des pluies maximales journalières avec une moyenne de 73 mm. La deuxième période (2007-2022) montre une augmentation des précipitations maximales quotidiennes avec une moyenne de 86 mm. C'est au cours de cette deuxième période que beaucoup d'évènements pluvieux extrêmes ont été enregistrés.

4.2. Analyse des SPI

La figure 3 montre la variabilité interannuelle du maximum journalier des précipitations à travers les SPI à Lomé de 1992-2022.

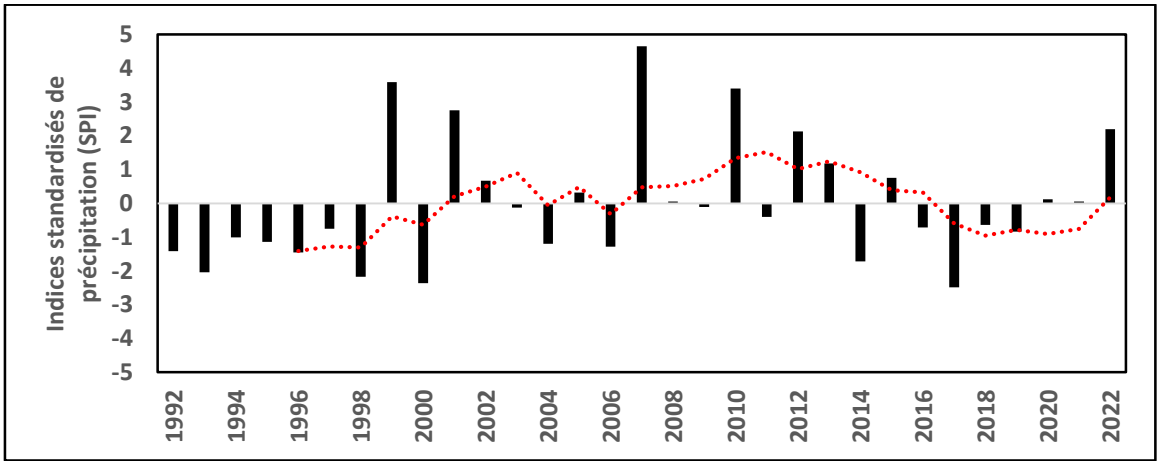


Figure 3. Evolution interannuelle du maximum journalier de pluies à Lomé de 1992 à 2022

L'analyse de la figure 3 fait ressortir deux phases pluviométriques dans la série. La première phase (1992-2006) est caractérisée par la baisse des pluies maximales journalières, avec plus de 53 % d'années à anomalies négatives. Cette baisse a cessé en 1998 suivie d'une légère reprise en 1999 du maximum pluviométrique journalier matérialisé par les anomalies positives enregistrées entre 1999 et 2006. La deuxième phase (2007-2022) est marquée par une augmentation d'années ayant enregistrées des pluies maximales quotidiennes avec une fréquence élevée des anomalies positives. Au sein même de cette période, les pluies maximales journalières ont connu une baisse à partir de 2016 et se poursuit jusqu'à 2019. Il faut souligner que ces évènements pluvieux extrêmes journaliers occasionnent des inondations aux effets environnementaux énormes à Lomé.

4.3. Analyse des seuils pluviométriques de risques d'inondation

Les indices standardisés de précipitations de 0 à +2 ont permis de catégoriser les seuils pluviométriques correspondant aux classes d'aléa limité, modéré, significatif et critique. Les seuils d'aléa d'inondation varient en fonction du niveau de risque comme l'indique le tableau 2 ci-après.

Tableau 2. Pluies maximales journalières d'aléa d'inondation et seuils de risques d'inondation à Lomé

Seuils journaliers pluviométriques d'aléa d'inondation	Niveau de risques d'inondation
107 mm	Critique
-	Significatif
95 mm	Modéré
80 mm	Limité

Le tableau 2 montre que les seuils pluviométriques journaliers sont de 80 mm pour le risque limité, 95 mm pour le risque modéré et 107 mm pour le risque critique. On note l'absence du seuil du risque significatif dans la série. A Lomé, les seuils pluviométriques du risque limité ne sont pas déclencheurs d'inondation. Au seuil de risque modéré, l'aléa d'inondation peut survenir. Lorsqu'une quantité de pluie journalière de 92,23 mm est enregistrée, l'ampleur de cette inondation est modérée. Le seuil d'aléa critique est plus remarquable, ce qui permet de caractériser les années aux pluies maximales journalières au cours desquelles les phénomènes d'inondations ont été observés. Ce qui n'est pas sans conséquences écologiques dans le secteur d'étude.

4.4. Risques environnementaux

Les populations de Lomé à travers leur expérience ont témoigné des risques environnementaux des inondations vécus. En effet, 86 % de la population enquêtée ont indiqué la pollution de l'eau, les maladies liées à l'eau (paludisme, diarrhée, choléra, dysenterie et fièvre typhoïde), la destruction des habitations et des voies de circulation. Les inondations causent des dégâts significatifs aux écosystèmes en détruisant les habitats naturels selon l'avis de 73 % des enquêtés. Les zones inondées subissent des altérations majeures, affectant gravement la flore et la faune locales (78 % des enquêtés). De nombreux animaux terrestres et aquatiques sont déplacés ou directement touchés par les inondations, ce qui peut entraîner des perturbations écologiques et des extinctions locales selon 68 % de la population enquêtée.

5. Discussion

Les résultats de cette recherche ont montré que de 1992 à 2022, les pluies maximales journalières ont connu un changement dans la série en 2006 à Lomé divisant la période d'étude en deux séries. La première (1992-2006) caractérisée par une baisse de pluies maximales quotidiennes tandis que la deuxième (2007-2022) marquée par excédent pluviométrique avec une récurrence des pluies maximales journalières entrainant des inondations. Ces résultats sont similaires à ceux de Dipama (2014), Houessou (2016) en Afrique de l'Ouest. L'étude des SPI montre que les anomalies positives caractérisent les événements pluvieux extrêmes, indicateur des risques d'inondation. Ces anomalies varient de 0 à 4,64. Ce qui corrobore les résultats de Koungbanane et al. (2023) et Badjana et *al*. (2014) dans le bassin versant de l'Oti au Togo. L'étude sur les seuils pluviométriques des inondations montre qu'à Lomé, ces seuils sont : limités, modérés et critiques. Ces résultats ont été relevés par Totin et al. (2016). L'étude a enfin présenté les risques environnementaux des inondations à Lomé. Ce qui est conforme à ceux relevés par Sokemawu (2017).

Conclusion

Lomé, la capitale du Togo est confrontée au phénomène de variabilité pluviométrique, caractérisée par de fréquentes inondations. L'analyse de l'évolution des précipitations montre une rupture de stationnarité en 2006. L'étude des indices standardisés de précipitations (SPI) montre une récurrence élevée des anomalies positives de 2007 à 2022 avec des événements pluvieux extrêmes. Cette ambiance explique la récurrence des inondations enregistrée et leurs conséquences environnementales à Lomé. Aussi, trois niveaux de risques d'inondation (limité, modéré et critique) sont définis en fonction des seuils pluviométriques de Lomé. L'étude des seuils pluviométriques peut servir d'outil d'aide dans la gestion les risques d'inondation dans le secteur d'étude.

Bibliographie

Amoussou E., Camberlin P., Totin Vodounon S. H., Tramblay Y., Houndénou C., Mahé G., Paturel J.-E., Boko M., 2014 : Évolution des précipitations extrêmes dans le bassin versant du Mono (Bénin-Togo) en contexte

de variabilité / changement climatique. In « Climat : Système & Interactions». XXVIIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), Dijon, France, pp 331-337.

Badjana H. M., Hounkpè K., Wala K., Batawila K., Akpagana K., Edjamé K. S., 2014 : Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques du nord du Togo entre 1960 et 2010. In European Scientific Journal, vol.**10**, No.11 ISSN: 1857–7881 (Print) e - ISSN 1857-7431, 19 p.

Dipama J. M., 2014 : Approche spatiale du phénomène du réchauffement climatique à l'échelle du Burkina Faso et perceptions des populations. in Climat et développement n° 16, juin 2014. Laboratoire Pierre PAGNY - Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin, pp. 36-49.

Houessou S., 2016 : Les inondations et les risques prévisionnels lies aux barrages hydroélectriques dans la basse vallée du mono ». Thèse de doctorat de Géographie, Univ. d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 198 p.

Khomsi K., Mahe G., Sinan M., Snoussi M., Tramblay Y., 2015: Trends in rainfall and temperature extremes in Morocco. Natural Hazards and Earth System Sciences, Discussions, **3**, p.1175–1201.

Klassou K. S., 2014 : L'influence humaine dans l'origine et la gravite des inondations au Togo : cas de l'aménagement de l'espace dans la grande banlieue nord de Lomé (Togblé- Adétikopé). In GEOTROPE, Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, IGT, Abidjan, N° **2** (2014) 3 - 15 p.

Koungbanane D., Lemou F., Djangbédja M., Totin Vodounon S. H, 2023 : Impact socio-économiques et environnementaux des risques d'inondation dans le bassin versant de l'Oti au Togo (Afrique de l'Ouest). Electronic version. https://journals.openedition.org/vertigo/40341. ISSN: 1492-8442.

Mckee T. B., Doesken N. J., Kleist J., 1993: The relationship of drought frequency and duration of time scales. In Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, vol. **17**, n° 22, pp. 179-186.

Panthou G., Vischel T. et Lebel T., 2014: Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. In International Journal of Climatology, doi : **10**.1002/joc.3984.

Seiler R. A., Hayes M. et Bressan L., 2002: Using the standardized precipitation index for flood risk monitoring. In International Journal of Climatology, **22**, pp. 1365-1376.

Sokemawu K., 2017 : Les inondations et leurs répercussions socio-économiques et sanitaires dans la basse vallée du Zio au sud du Togo". Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes, N° **2**, ISSN 2521 – 2125.

Totin V. S. H., Amoussou E., Odoulami L., Boko M., BLIVI B. A., 2016 : Seuils pluviométriques des niveaux de risque d'inondation dans le bassin de l'Ouémé au Benin (Afrique de l'ouest). XXIXe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Lausanne - Besançon, 369 - 374 p.

RISQUES ET IMPACTS SOCIO- ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FACE AU DRAGAGE DE SABLE DANS L'ARRONDISSEMENT D'AKASSATO (COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI)

Kannayi Frédéric LODOUHOUE[1,2] Gaston Sèssinou LAGOYE[3], Expédit Willfrid VISSIN [1, 2]

[1]*Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, BP 1338*

[2]*Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey Calavi, B.P 526 ;* lodoufred@gmail.com, exlaure@gmail.com

[3]*Master Intégration Régionale et développement (MIRD) Université d'Abomey-Calavi*

Résumé : *La demande croissante en sable pour les infrastructures a conduit à sa surexploitation, exacerbant les risques environnementaux et climatiques. Cette étude s'est penchée sur les impacts socio-environnementaux du dragage de sable à Akassato, en utilisant la recherche documentaire et des enquêtes auprès de 38 habitants, analysées via le modèle PEIR. Malgré l'utilisation d'engins modernes et des prix attractifs (32 000 FCFA pour les camions à six roues, 49 000 FCFA pour ceux à dix roues), les avantages économiques sont contrebalancés par de graves conséquences environnementales et une vulnérabilité accrue de la population au changement climatique. Les habitants souffrent de divers maux : 38 % de maux de tête, 36 % de rhumes, 7 % de cancers du poumon et 19 % d'hypertension artérielle. Il est donc impératif de trouver des solutions durables pour mitiger ces impacts.*

Mots clés : *Akassato, vulnérabilité, Risque, Impact, changement climatique.*

Abstract: Socio-environmental risks and impacts of climate change in the face of sand dredging in the Akassato District (Municipality of Abomey-Calavi). *The growing demand for sand for infrastructure has led to its overexploitation, exacerbating environmental and climate risks. This study examined the socio-environmental impacts of sand dredging in Akassato, using desk research and surveys of 38 residents, analyzed using the PEIR model. Despite the use of modern machinery and attractive prices (32,000 FCFA for six-wheel trucks, 49,000 FCFA for ten-wheel trucks), the economic benefits are offset by serious environmental consequences and increased vulnerability of the population to climate change. Residents suffer from various ailments: 38% from headaches, 36% from colds, 7% from lung cancer, and 19% from high blood pressure. It is therefore imperative to find sustainable solutions to mitigate these impacts.*

Keywords : *Akassato, vulnerability, risk, impact, climate change.*

Introduction

L'humanité, cherchant à satisfaire ses besoins croissants, exploite intensément les ressources environnementales, entraînant une dégradation marquée des écosystèmes et des roches du substrat (H. SEHONOU, 2016). Les populations priorisent souvent leurs besoins de survie à court terme au détriment d'objectifs à long terme (Jean-Baptiste GODJO, 2017), les activités anthropiques contribuant fortement à la dégradation environnementale (Fassinou, 2008). En Afrique, l'augmentation démographique et la forte demande en ressources naturelles dépassent la capacité de charge de l'environnement (E. F. OGAN, 2012 ; L. Laura TOKANNOU, 2021).

Au sud du Bénin, diverses activités humaines dans les écosystèmes aquatiques, telles que la pêche, l'agriculture, le transport fluvial et l'exploitation du sable lagunaire, accélèrent la dégradation des ressources et des paysages (DEGNIDE, 2001 ; M. Fassinou AMOUSSOU, 2016). Les problèmes environnementaux liés à cette dégradation sont une préoccupation mondiale majeure (PNUD, 2002 ; Richard N. B. SOUNKOUA, 2005). L'exploitation des carrières de sable, en particulier, entraîne la destruction du couvert végétal, la disparition de la faune, la dégradation des terres arables et l'ensablement des cours d'eau (AGBANOUSSOU, 2006 ; Serge CHEDJINNABI *et al.*, 2017).

Pour un développement durable, l'exploitation des ressources, comme le dragage de sable à Akassato, doit impérativement respecter les normes environnementales. VODOUNOU (2002)

et L. AMOUZOUN (2013) soulignent la nécessité de considérer les gains, les pertes et les remplacements au sein des écosystèmes.

1. Présentation du milieu d'étude

L'arrondissement d'Akassato, située au centre de la commune d'Abomey-Calavi est comprise entre 6°29'0'' et 6°32'30'' de latitude Nord et entre 2°17'30'' et 2°24'30'' de longitude Est. D'une superficie de 539km², l'arrondissement d'Akassato représente 20% de la superficie de la commune d'Abomey-Calavi.

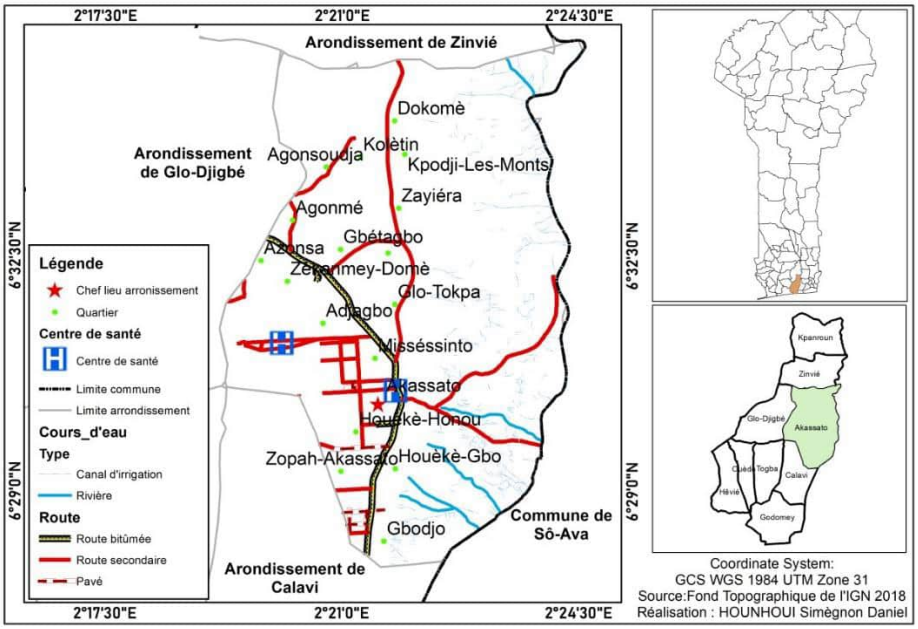


Figure 1 : Situation géographique de l'arrondissement d'Akassato.

L'arrondissement d'Akassato est limité au Nord par l'arrondissement de Zinvié, au Sud par l'arrondissement d'Abomey-Calavi, à l'Est par la commune de Sô-Ava et à l'Ouest par l'arrondissement de Glo-Djigbé.

2. Approche méthodologique

Cette partie fait cas de l'approche méthodologique adoptée. Elle a consisté en la collecte et le traitement des données puis l'analyse des résultats.

Les données utilisées, sont :

- Statistiques démographiques de l'INStaD (RGPH de 1992, 2002, 2023) pour voir l'évolution de la population,
- Relevés climatiques de Météo Bénin, pour connaitre les hauteurs de pluies ainsi que les mois favorables à l'exploitation du sable,
- Données cartographiques, issues du logiciel Arc Gis,
- Données socio-environnementaux issus des enquêtes de terrain.

Pour recueillir les données sur le terrain, la technique d'enquête que nous avons utilisée était l'entretien direct. Les questionnaires ont été soumis aux ouvriers qui travaillent sur les sites de dragage de sable et aux personnes qui sont à proximité des sites. Le guide d'entretien a été soumis au responsable des sites de dragage de sable. Nous avons aussi utilisé la Méthode Active de Recherche participative (MARP) afin de bien aborder la population.

Dans l'arrondissement d'Akassato les sites de dragage de sable fonctionnels sont le site d'Akassato centre et le site d'Agassa-Godomey. Au niveau du site d'Akassato 25 personnes ont été questionnées et 13 personnes ont été questionnées au niveau du site d'Agassa-Godomey. Au total 38 personnes ont été enquêtées. Sur le terrain l'enquête a d'abord été effectuée au niveau des sites de dragage de sable puis ensuite au niveau des populations aux alentours des sites. Les questionnaires d'enquête sont dépouillés et les informations collectées sont traités manuellement et à l'aide de l'informatique. L'analyse des données est faite avec

les logiciels Word, Excel. Ces deux logiciels ont été utilisés pour la réalisation des tableaux et des graphes. Avec le logiciel Excel on a pu voir le pourcentage des diverses maladies qui se développent dans l'arrondissement d'Akassato. Le logiciel Arcgis a permis de faire la réalisation des différentes cartes du milieu d'étude. Les informations recueillies sur le terrain ont permis de connaître les différentes étapes du dragage de sable, les outils de travail des ouvriers, leurs différents rôles ainsi que l'impact du dragage de sable sur les ouvriers et l'environnement. Les résultats obtenus ont été analysées à l'aide de l'approche PEIR (Pression, Etat, Impact, Réponse). Cette approche appliquée à cette recherche est basée sur les renseignements obtenus auprès des acteurs.

3. Résultats et discussions

Cette rubrique présente les différents résultats des enquêtes de terrain effectuées dans le cadre de l'étude et les diverses solutions à apporter pour réduire les risques et impacts socio-environnementaux du dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato.

3.1 Caractérisation des acteurs intervenants dans l'activité de dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato.

Le dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato met en jeu plusieurs acteurs. Ils jouent différent rôle dans le processus du dragage de sable. Il s'agit entre autres des ouvriers de la société qui travaillent sur le Water Master, du chargeur, du conducteur, du contrôleur, et du comptable.

Les ouvriers creusent dans le sable au fond de la lagune avec une machine en forme de bateau appelée Water Master. Elle possède une pompe mécanique capable de pomper le sable au fond de l'eau. Le sable est ensuite transporté par un grand tuyau jusqu'au bord de la lagune où se trouvent les chargeurs automatiques. Ils prélèvent 100 à 200 kilogrammes de sable par jour. La photo 1 ci-dessous présente un Water Master que les ouvriers du site utilisent pour draguer le sable sous l'eau.



Photo 1. WaterMaster utilisés pour draguer le sable sous l'eau

Prise de vue : *HOUNHOUI, Mai 2024*

Sur la photo 1, on peut apercevoir un tuyau qui est relié à un Water Master. C'est ce tuyau qui conduit le sable dragué jusqu'au niveau de la zone de stockage de sable.

3.2 Risques et impacts socio-environnementaux du dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato.

L'exploitation de sable lagunaire, comme tout autre activité économique a ses avantages et ses inconvénients, sur la société et sur l'environnement. Il est important d'analyser les différents risques et impact environnementaux que le dragage de sable produit sur la société et sur l'environnement afin d'apporter des idées de solutions pour le bien-être de la société et de l'environnement.

3.2.1. Risques du dragage de sable sur l'environnement

Les travaux sur les sites de dragage de sable exposent les employés à d'énormes risques. La figure 3 ci-dessous présente l'avis des enquêtés sur l'exposition aux risques sanitaires et environnementaux.

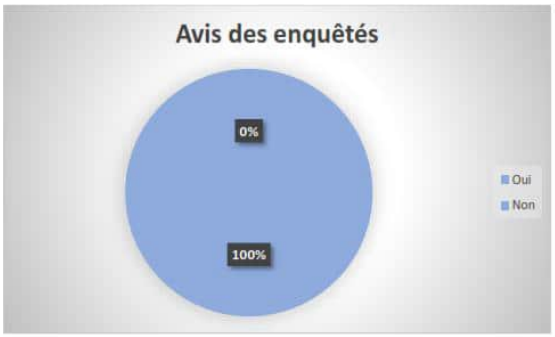


Figure 3. Avis des enquêtés sur l'exposition aux risques au cours des opérations de dragage de sable
Source : *Enquête de terrain, Mai 2024*

La figure 3 présente l'avis des enquêtés sur l'exposition aux risques sanitaires et environnementaux. De l'analyse de cette figure on remarque que 100 % des questionnés ont affirmés qu'ils sont exposés à des risques au cours de leurs opérations. Cela démontre que chaque opération sur les sites de dragage de sable génère de multiples risques sur le plan sanitaire que sur le plan environnemental.

3.2.2. Risques socio-environnementaux liés aux activités sur les sites de dragage de sable d'Akassato

L'activité de dragage de sable expose les ouvriers des sites à des risques sanitaires et environnementaux tels que : La pollution atmosphérique, la pollution sonore, l'érosion, et les risques de noyade. La figure 4 présente ces différents risques liés aux activités menées sur les sites de dragage de sable.

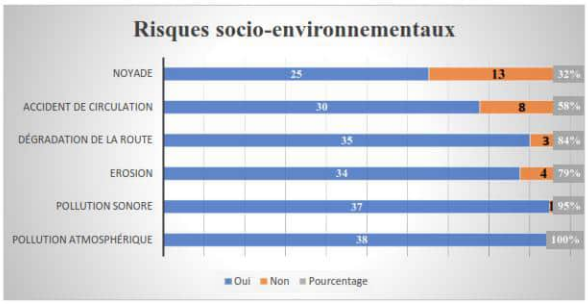


Figure 4. Risques socio-environnementaux du dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato
Source : *Enquête de terrain, Mai 2024*

La figure 4 présente les risques socio-environnementaux du dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato. L'analyse de cette figure nous montre que le pourcentage des risques de pollution atmosphériques est de 100 %, le pourcentage des risques de pollution sonore est de 95 %, le pourcentage des risques d'érosion est de 79 %, le pourcentage des risques de dégradation de la route est de 84 %, le pourcentage des risques d'accident de circulation est de 58 % et le pourcentage des risques de noyade est de 32 %.

3.2.3 Impacts positifs

Le dragage de sable est une activité bénéfique pour les personnes qui travaillent sur le site d'une part car il leur permet de subvenir à leur besoin respectif et aux besoins de leurs familles respectives. Cette activité est également avantageuse pour les personnes qui achètent le sable auprès des sociétés de dragage de sable pour la construction de leur maison.

3.2.4 Impacts négatifs

Les impacts négatifs du dragage de sable sont sur plusieurs plans. L'activité du dragage de sable impact négativement les composantes de l'environnement tels que le sol, la végétation,

l'air et la faune aquatique. Cette activité a des impacts sur le plan sanitaire, que ce soit au niveau des ouvriers sur le site qu'au niveau de la population.

❖ **Impacts sur l'air :** Le dragage de sable provoque la pollution atmosphérique à cause de la quantité abondante de fumé que les camions dégagent ainsi que la poussière. La pollution est abondante sur les voies qui mènent vers les sites d'exploitation. Les gaz d'échappement des camions sont très toxiques et insupportables pour les usagers de la route.

❖ **Impact sur l'eau :** Les ouvriers qui travaillent sur le site de dragage d'Akassato produisent des déchets qu'ils jettent parfois dans l'eau. La production de déchet sur les sites de dragage n'est pas directement liée à l'activité de dragage de sable mais elle est plutôt liée aux ouvriers qui achètent des nourritures en sachet plastique.

❖ **Impacts sur la faune aquatique :** Le dragage de sable est une activité qui engendre beaucoup de bruits dans l'environnement et provoque la fuite plusieurs espèces aquatiques qui se reproduisent dans l'eau. Cela perturbe le mode de vie des espèces aquatiques qu'il y avait dans le milieu avant l'implantation du site.

❖ **Impacts sur la santé :** Le plan sanitaire, les ouvriers sur le site souffrent généralement des maux de tête, des maux de hanche, du paludisme, des démangeaisons. Les populations proches des sites de dragage souffrent généralement de rhume, de maux de tête de de cancer de poumon et de tension artérielle.

Tableau 1. Quelques impacts négatifs et leurs mesures d'atténuation

ACTEURS	IMPACTS	MESURES D'ATTENUATIONS
Ouvriers du site de dragage de sable	Accidents de travail	-Utilisation des panneaux de signalisations de risque de noyade au niveau des zones à risque.
Population	Maladies	-Utilisation des médicaments pour le traitement des maladies tels que le paludisme, les maux de tête, le rhume. -Utilisation des baumes antidouleur contre les maux de hanche et les courbatures.
	Accidents de circulation	-Utilisation des panneaux de signalisation des sorties de camions. -Diminution de la vitesse des camions en circulation sur les voies qui mènent aux sites.
	Maladies	-Utilisation des médicaments pour le traitement des maladies tels que maux de tête, rhume, tension artérielle, et cancer de poumon.

***Source** : enquête de terrain Mai 2024*

Le tableau I présente les impacts négatifs du dragage de sable et leurs mesures d'atténuation. L'analyse de ce tableau nous montre que les ouvriers qui travaillent sur les sites de dragage de sable sont exposés aux risques d'accident de travail et aux risques de maladies.

3.3. Vulnérabilité de la population face au changement climatique

Les résultats issus de cette recherche, montrent une forte variabilité pluviométrique interannuelle dans le milieu d'étude. Cette variabilité est due à la réduction et la mauvaise répartition spatiale et temporelle des pluies qui perturbent les activités de dragage. Il ressort de l'analyse des données pluviométriques, les activités de dragage et commercialisation sont confrontées aux phénomènes des inondations. On constate le ralentissement de leurs activités dans la période. Pendant la période sèche, elles sont pour la plupart confrontées aux problèmes de pénurie d'eau pour le dragage de sable. Enfin le changement climatique a des répercussions sur les activités est aussi vulnérable pour les populations d'Akassato.

Conclusion

Au terme de la présente recherche sur la « Risques et impacts socio- environnementaux du dragage de sable dans l'arrondissement d'Akassato (Commune d'Abomey-Calavi) », nous remarquons que dans l'arrondissement d'Akassato le dragage est une activité génératrice de revenus pour les acteurs intervenants dans sur les sites, et très utile à la construction des maisons. L'exploitation du sable lagunaire dans l'arrondissement d'Akassato est marquée par l'utilisation des engins mécaniques, qui facilitent le travail et qui nécessite une bonne formation des ouvriers des sites. Avec l'augmentation de la population cette activité ne risque pas de prendre fin dans l'arrondissement d'Akassato. Le besoin de logement va s'accroitre ainsi que la demande de sable. Cependant le dragage de sable n'est pas sans inconvénients sur la société et l'environnement d'Akassato. Cette activité impacte négativement toutes les composantes de l'environnement (Sol, végétation, air, eau, faune). Elle impact également la santé des ouvriers et des populations aux alentours des sites. La pollution sonore et atmosphérique est responsable des maux de tête et des maladies cardiaques. Il est quand même important de penser à restaurer les dégâts que les acteurs intervenants dans le dragage de sable provoquent sur l'environnement.

Bibliographie

ADIOVI. E. Serge Rodrigue et DEGBO AGAGNON M.G.O Léa (2016) : Impacts socio- économiques et environnementaux de l'exploitation du sable dans l'arrondissement de tchatchou (commune de Tchaourou). Mémoire de licence de Géographie, UAC/FASHS/DGAT, 47 p ;

CHEDJINNABI Serge et CHEDJINNABI Joël (2017) : Effets environnementaux de l'installation des carrières l'installation des carrières de sable dans l'arrondissement d'Akassato au Bénin. Mémoire de licence de Géographie, UAC/FASHS/DGAT, 80 p ;

GODJO Jean-Baptiste (2017) : Enjeux environnementaux et socio-économiques de l'exploitation des carrières de sable dans la commune d'Agbangnizoun. Mémoire de maîtrise de Géographie, UAC/FASHS/DGAT, 78 p ;

SOUNKOUA N.B. Richard (2015) : Importances socio-économiques et environnementale de l'exploitation du site aurifère de TCHANTANGOU. Mémoire de maîtrise de maîtrise de Géographie, UAC/FASHS/DGAT, 58 p ;

TOKANNOU L. Laura (2021) : Effets socio-économiques dragage de sable dans la ville de Porto-Novo. Mémoire de Licence de Géographie, UAC/FASHS/DGAT, 61 p.

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOULEMENT FLUVIAL DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE EN GUINÉE : CAS DU BASSIN DE NIGER À KOUROUSSA.

Tamba Nicolas MILLIMONO[1,4,*] , Moussa Mamady TRAORÉ[2,3,4] , Yakouba CAMARA[1] , Diakaria DIALLO[3,4] , Bakary TRAORÉ[5,6]

[1]*Institut Supérieur de Technologie (IST) de Mamou, Guinée.*
[2]*Laboratoire de physique de l'Atmosphère et de l'Océan Simeon Fongang (LPAO-SF), Université Cheick Anta Diop (UCAD), Sénégal*
[3]*Institut Supérieur des Sciences de l'Education de Guinée (ISSEG), Guinée.*
[4]*Laboratoire d'Enseignement et de Recherche en Énergétique Appliquée (LEREA), Université Gamal Abdel Nasser de Conakry (UGANC), Guinée.*
[5]*Université de N'Zérékoré (UZ), Guinée*
[6]*Direction de la Recherche et des Statistiques, Commission de la CEDEAO, Abuja, Nigéria*
*Email : mtambanicolas79@gmail.com * Contact du correspondant : +224 628 84 58 71**

Résumé : *Les précipitations sont essentielles au cycle hydrologique, influençant directement l'écoulement des rivières et des cours d'eau. Cette étude se concentre sur l'impact des précipitations sur le débit du fleuve Niger à Kouroussa, en Guinée, entre 1991 et 2020. En combinant des indices pluviométriques et des mesures de débit fluvial avec le test de corrélation de Spearman (niveau de confiance de 95 %), elle met en évidence une relation positive significative entre les deux variables (r = 0,439). Les résultats révèlent une forte variabilité saisonnière des précipitations (−80 à +63 mm), avec un pic de précipitations (~350 mm) et de débit (~13832 m³/mois) en août. Cette variabilité est attribuée à l'irrégularité climatique, mais aussi à d'éventuelles influences humaines et à la gestion des ressources. L'étude souligne que, bien qu'une augmentation des précipitations tende à accroître l'écoulement fluvial, cette relation n'est pas systématique et dépend de facteurs comme le sol, la végétation et l'usage des terres. Ces résultats appellent à une prise en compte des changements climatiques dans la gestion durable des ressources en eau et en énergie du bassin du Niger.*

Mots clés : *Changement climatique, Écoulement fluvial, Bassin du Niger, Précipitations.*

Abstract: Impact of climate change on river flow in the guinea hydrographic basin: case of the Niger Basin at Kouroussa. *Precipitation is essential to the hydrological cycle, directly influencing the flow of rivers and streams. This study focuses on the impact of precipitation on the Niger River discharge at Kouroussa, Guinea, between 1991 and 2020. Combining rainfall indices and river discharge measurements with the Spearman correlation test (95% confidence level), it highlights a significant positive relationship between the two variables (r = 0.439). The results reveal high seasonal variability in precipitation (−80 to +63 mm), with a peak in precipitation (~350 mm) and discharge (~13,832 m³/month) in August. This variability is attributed to climatic irregularities, but also to possible human influences and resource management. The study highlights that, although increased rainfall tends to increase river flow, this relationship is not systematic and depends on factors such as soil, vegetation, and land use. These results call for consideration of climate change in the sustainable management of water and energy resources in the Niger Basin.*

Keywords: *Climate change, River flow, Niger Basin, Precipitation.*

Introduction

L'eau joue un rôle central dans les écosystèmes naturels et dans les sociétés humaines, en particulier en Afrique de l'Ouest, où la pression croissante de la population et la diminution des précipitations depuis les années 1970 ont fragilisé les ressources hydriques (Nicholson, 2001 ; Lebel et Ali, 2009). Le bassin fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo, partagé entre le Bénin et le Togo, illustre bien cette dynamique avec une forte dépendance économique aux cours d'eau, mais aussi des perturbations liées aux activités humaines (déforestation, barrages, urbanisation) et aux changements climatiques (Akognongbé *et al.*, 2016 ; Lawin *et al.*, 2019). Des études antérieures ont mis en évidence la dégradation du couvert végétal, l'impact du barrage de Nangbéto sur les flux hydrosédimentaires, et les conséquences de la variabilité

pluviométrique sur l'écoulement des cours d'eau dans la sous-région (Amoussou et al., 2012 ; Hounkpè *et al.*, 2020).

En Guinée, les précipitations saisonnières déterminent fortement les débits des rivières, et leur gestion est cruciale pour prévenir les inondations et assurer l'approvisionnement en eau (Traoré *et al.*, 2024 ; Camara *et al.*, 2023). Face à la variabilité climatique et à ses effets sur l'écoulement fluvial, notamment dans des bassins comme celui du Niger à Kouroussa, cette étude vise à identifier les indices climatiques pertinents pour anticiper les grandes variations hydrologiques (Sarr et Lona, 2020). L'évolution des précipitations et des débits entre 1991 et 2020 y est analysée pour mieux comprendre les interactions entre climat et ressources en eau. L'objectif est double : d'une part, approfondir les connaissances scientifiques sur l'influence des précipitations sur l'écoulement dans le contexte de la variabilité climatique ; d'autre part, fournir des outils d'aide à la gestion durable des ressources hydriques, essentielles pour la production agricole, l'énergie hydroélectrique et le bien-être des populations.

1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin du fleuve Niger s'étend sur neuf pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre : le Bénin, le Burkina Faso, le Cameroun, la Côte d'Ivoire, la Guinée, le Mali, le Niger, le Nigeria et le Tchad. Ces neuf pays comptent parmi les plus pauvres du monde. Le fleuve Niger traverse la préfecture de Kouroussa, qui est une subdivision administrative de la région de Kankan, en Guinée. Le chef-lieu de cette préfecture est la ville de Kouroussa (fig. 1).

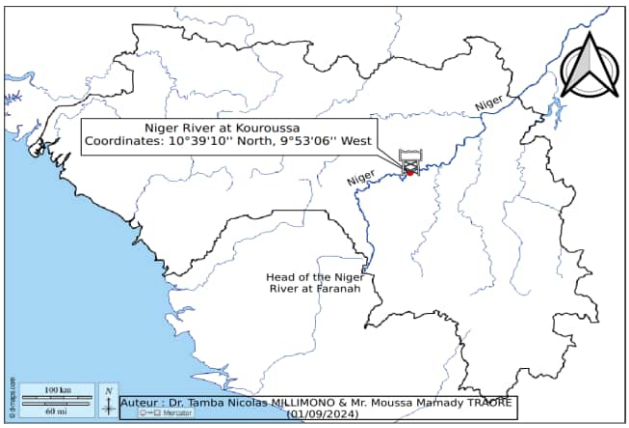


Figure 1. Carte hydrologique de la République de Guinée. Le point rouge est le bassin du Niger à Kouroussa.

2. Données et méthodes

2.1. Données

Les données utilisées dans la présente étude sont de deux sortes :

- Les données de pluies des stations synoptiques disponibles pour la zone d'étude à la Direction Nationale de la Métrologie (DNM) en Guinée. Ces données pluviométriques utilisées résultent des moyennes de pluie annuelles sur une période de 30 ans (1991-2020) pour les quatre (4) stations synoptiques couvrant le site (bassin du Niger) et ces afluents (stations de Conakry, Boké, Kindia).

- Les données du débit d'eau dans le bassin du Niger pour une durée de 30 ans de 1991 à 2020. Cette donnée est disponible à la Direction Générale de la Societé des Eaux et Elctricité de Guinée (EDG).

2.2. Méthodes

2.2.1. Calcul de la climatologie mensuelle des précipitations et le débit d'eau dans le bassin du Niger

La climatologie mensuelle consiste à calculer la moyenne des données climatiques pour chaque mois de l'année sur une période donnée, ce qui permet de mieux comprendre les variations saisonnières de la précipitation et le débit d'eau dans le bassin du Niger.

Pour calculer la moyenne mensuelle des précipitations, nous avons utilisés la relation suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} P_i$$

Où Pmoy est la moyenne mensuelle des précipitations ou le débit d'eau dans le bassin.

P_i : est la quantité de précipitations observée pour le jour i du mois. n : est le nombre total de jours dans le mois.

2.2.2. Calcule de la climatologie annuelle des précipitations et le débit d'eau dans le bassin du Niger

Pour calculer la climatologie annuelle, les données de précipitations ont été additionnées pour chaque année de la période d'étude, puis divisées la somme par le nombre total d'années pour obtenir la moyenne annuelle des précipitations.

$$P_{\text{moy}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} P_i \text{ où } P_{\text{moy}}$$

Où P_{moy} est la moyenne annuelle des précipitations, Pi est la quantité de précipitations observée pour l'année i, et N est le nombre total d'années dans la période d'étude.

2.2.3. Calcul des anomalies de la variabilité interannuelle de la précipitation et le débit d'eau dans le bassin du Niger.

En surveillant les anomalies de la précipitation et le débit d'eau dans le bassin au fil du temps, on peut évaluer les impacts du changement climatique sur les ressources en eau. Cela peut aider à informer les politiques d'adaptation et d'atténuation pour faire face aux défis futurs liés au climat.

$$Ano_i = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$$

Où : $\bar{P}$ est la moyenne calculée de toutes les valeurs de l'ensemble de données P de la variable considérée précipitations ou le débit d'eau danse bassin. P_i est la valeur annuelle de la variable X considérée pour une année donnée i. σ est l'écart-type d'échantillon

En suivant ces étapes, nous allons calculer les anomalies standardisées de la variabilité interannuelle de la précipitation et le débit d'eau dans le bassin, ce qui permet une analyse plus approfondie et une meilleure compréhension des variations climatiques et de leurs impacts.

2.2.4. Corrélation entre précipitations et le débit d'eau dans le bassin du Niger.

Une fois les tendances des précipitations établies, une analyse est menée pour examiner la corrélation entre les niveaux de précipitations et le débit d'eau dans le bassin. Cela peut être réalisé en calculant des coefficients de corrélation défini comme ci-dessous :

$$r = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma_X}\frac{(Y_i - \bar{Y})}{\sigma_Y}$$

Xi : cumul de toute la série de la première variable; Yi : cumul de toute la série de la deuxième variable; $\bar{X}$: moyenne calculée de toutes les valeurs de l'ensemble de données xi pour la première variable; $\bar{Y}$, moyenne calculée de toutes les valeurs de l'ensemble de données yi pour la deuxième variable; σX : Écart-type d'échantillon de toutes les premières variables x; σY : Écart-type d'échantillon de toute la deuxième variable y; r : coefficient de corrélation, -1<r<1. N : le nombre total de valeurs dans l'ensemble de données appariées x et y.

Ensuite, pour tester la significativité du coefficient de corrélation de Pearson entre les deux variables, on utilise souvent une transformation en une statistique t sous certaines conditions d'hypothèse nulle (absence de corrélation). La statistique t peut être calculée comme suit :

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$$

où :

r : est le coefficient de corrélation de Spearman. n : est le nombre de paires de valeurs.

Cette statistique t suit approximativement une distribution t de Student avec n−2 degrés de liberté.

La valeur de t ainsi obtenue est ensuite comparée à une valeur critique de la table de distribution t de Student pour un niveau de signification donné (par exemple, 0,05 pour un intervalle de confiance de 95 %). Si la valeur absolue de t est supérieure à la valeur critique, la corrélation est considérée comme statistiquement significative.

3. Résultats et discussions

3.1. Climatologie mensuelle de la précipitation ETde le débit d'eau du bassin de Niger à Kouroussa

La Figure 2 présente la climatologie mensuelle des précipitations, indiquées en bleue. On observe que les précipitations varient de manière significative entre les mois de mai et d'octobre. Cette période correspond à la saison des pluies dans cette localité, avec un pic en août, atteignant environ 350 mm de précipitations pour ce mois, sur la période de 1991 à 2020.

En outre, la courbe rouge indique la climatologie du débit d'eau dans le fleuve Niger à Kouroussa. On constate que le bassin est un cours d'eau généralement abondant et bien alimenté, bien qu'il soit sujet à des étiages sévères en mars, avril et mai. Le débit moyen mensuel en avril (au minimum d'étiage) est de 1920,5 m³/mois, soit 12 fois moins que le débit moyen du mois d'août, illustrant ainsi son irrégularité. Sur la période d'observation de 30 ans

de 1991 à 2020, le débit mensuel minimal a été de 1797,61 m³/mois, presque à sec, tandis que le débit mensuel maximal, enregistré en août, était de 13832,77 m³/mois.

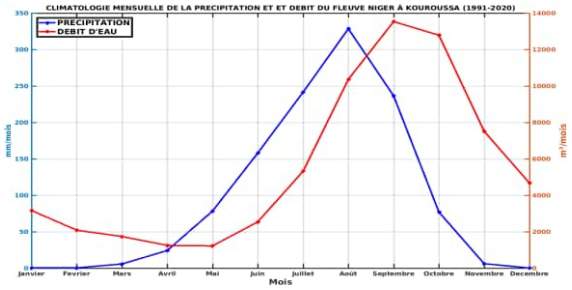


Figure 2 : Climatologie menseuelle de la précipitation et le débit d'eau du bassin de Niger à Kouroussa en 1991 à 2020.

3.2. Anomalie standardisée de la précipitation et le débit d'eau du bassin de Niger à Kouroussa.

Entre 1991 et 2020, l'analyse des anomalies standardisées montre une alternance d'années excédentaires et déficitaires en précipitations (Fig. 3A). Les périodes humides, notamment en 1992, 1994-1996, 2003 ou encore 2020, ont favorisé de bonnes conditions hydrologiques. En revanche, des années comme 1993, 2001-2002 ou 2018-2019 ont été marquées par des déficits pluviométriques persistants, traduisant une tendance générale à la baisse des précipitations, avec des impacts négatifs sur les ressources en eau.

Du côté des débits du fleuve Niger, la situation a été plus contrastée : certaines années de précipitations déficitaires ont tout de même enregistré des débits excédentaires, notamment entre 2015 et 2020, suggérant une influence humaine ou une meilleure gestion hydrique (Fig. 3B). Toutefois, plusieurs périodes, comme 1991-1993 ou 2005, ont connu des déficits importants, affectant les écosystèmes et les usages agricoles. Globalement, malgré la baisse des précipitations, les débits montrent une légère tendance à la hausse, révélant des interactions complexes entre climat et écoulement fluvial.

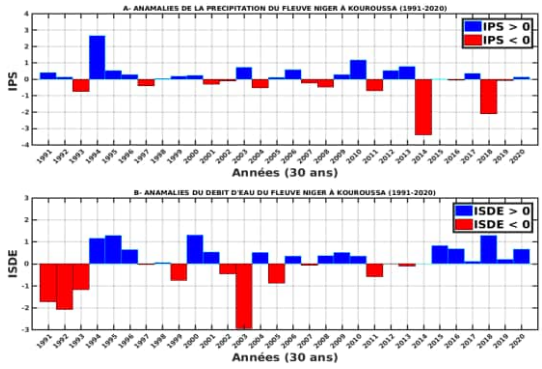


Figure 3 : Anomalie annuelle de la précipitation et le débit d'eau du bassin de Niger à Kouroussa de 1991 à 2020.

3.3. Corrélation entre la précipitation et le débit d'eau du bassin de Niger à Kouroussa.

La figure 4 met en évidence une corrélation positive significative (r = 0,439, test de Pearson) entre les précipitations relevées en Guinée et le débit d'eau du fleuve Niger à Kouroussa, indiquant une interdépendance marquée entre ces deux variables. Cette relation suggère que les fluctuations des précipitations influencent directement le débit fluvial, ce qui a des implications majeures pour la gestion des ressources en eau et en énergie. Ainsi,

comprendre cette dynamique est crucial pour anticiper les variations hydrologiques dues aux changements climatiques et pour assurer une planification durable des ressources hydriques dans la région de Basse Guinée.

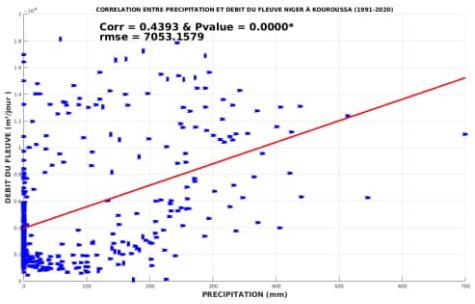


Figure 4 : Corrélation entre la précipitation et du débit d'eau du fleuve Niger à Kouroussa durant la période la 1991 à 2020.

Conclusion

Cette étude met en lumière l'importance cruciale des précipitations dans la dynamique hydrologique du fleuve Niger à Kouroussa, en Guinée. Les résultats révèlent une relation significative entre les précipitations et le débit fluvial, bien que modulée par des facteurs tels que les conditions du sol, la couverture végétale et les pratiques d'utilisation des terres. La variabilité observée des précipitations et des débits sur la période étudiée reflète l'influence des fluctuations climatiques sur les ressources en eau, avec des années de sécheresse et d'abondance affectant différemment l'écoulement du fleuve. Ces constatations soulignent l'importance d'une gestion intégrée des ressources hydriques qui tienne compte des variations climatiques et des usages anthropiques, afin d'assurer la durabilité des ressources en eau dans le bassin du Niger.

Bibliographie

Nicholson, S. E. (2001). Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Research*, **17**, 123–144.

Lebel, T. & Ali, A. (2009). Recent trends in the Central and Western Sahel rainfall regime (1990–2007). *Journal of Hydrology*, **375**, 52–64.

Akognongbé, A. J. *et al.* (2016). Vulnérabilité du bassin du Mono face aux changements climatiques. *Revue CAMES Sciences Sociales et Humaines*, **4(1)**, 90–104.

Lawin, A. E. et al. (2019). Dynamique des zones humides du bassin Mono-Couffo dans un contexte de changement climatique. *Afrique SCIENCE*, **15(2)**, 99–115.

Amoussou, E. *et al.* (2012). Impact des aménagements hydroagricoles sur les ressources en eau du bassin du Couffo. *Revue des Sciences de l'Eau*, **25(2)**, 119–130.

Hounkpè, J. E. *et al.* (2020). Variabilité hydroclimatique et gestion des ressources en eau dans le bassin Mono au Bénin. *Climatologie*, **17**, 1–17.

Traoré, M. M. *et al.* (2024). Analyse de la variabilité des précipitations et des débits en Guinée : cas du bassin du Niger à Kouroussa. *Actes du Colloque AWACLIM*, à paraître.

Camara, M. *et al.* (2023). Caractérisation climatique et enjeux de l'eau en Haute Guinée. *Journal Guinéen des Sciences Environnementales*, **2(1)**, 45–58.

Sarr, B. & Lona, I. (2020). Indices climatiques et hydrologiques pour la prévision des écoulements en Afrique de l'Ouest. *Revue Africaine de l'Environnement*, **10**, 25–38.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VULNERABILITE DE LA ZONE COTIERE OUIDAH GRAND-POPO SUITE A L'ELEVATION DU NIVEAU MARIN AU SUD DU BENIN

MONSI AGBOKA Joris[1].*, KEGBO K. Clément[1]., HEDIBLE Sidonie Clarisse[1], KOUDJEGA Kouété Hervé[1]., VISSIN Expédit Wilfrid[1]

1 EDP/ECD (UAC)/ FASHS (UAC)/ Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Ecosystème, Eau et Développement (LACEED)/ Université d'Abomey-Calavi, 01BP 2009 Cotonou BENIN, koudjegaherve@gmail.com, exlaure@gmail.com

Résumé : *Situé dans la zone côtière du Bénin, les communes de Ouidah et Grand-Popo se trouvent à l'instar des zones côtières mondiales menacées face à l'élévation du niveau de la mer. L'objectif de cette recherche est d'étudier la vulnérabilité de la zone côtière Ouidah Grand-Popo suite à l'élévation du niveau marin. Les données utilisées concernent les statistiques climatologiques, les données planimétriques et informations du terrain. Un modèle de SIG est créé pour le calcul de l'un Indice de Vulnérabilité côtière (CVI). Une hausse du niveau de la mer de 3,31 mm/an sur la période altimétrique 1993-2015 est notifiée. Les zones présentant une vulnérabilité élevée et très élevées occupent respectivement 26 et 22 % soit un linéaire de 7,22 et 5,98 km du littoral.*

Mots clés : *Vulnérabilité, Zone côtière, Élévation du niveau marin, Changement climatique*

Abstract: Climate change and vulnerability of the ouidah grand-popo coastal zone following sea level rising in Southern Benin. *Located in the coastal zone of Benin, the communes of Ouidah and Grand-popo are like the world's coastal zones threatened by rising sea levels. The data used concern climatological statistics, planimetric data and field information. Remote sensing methods of geographic information systems with six geophysical variables from satellite resources and three key socio-economic variables are used as indicators of the coastal vulnerability index (CVI). A sea level rise of 3.31 mm/year, over the altimetric period 1993-2015 is reported. Areas with high and very high vulnerability occupy 26 and 22% respectively, i.e. a linear distance of 7.22 and 5.98 km of the coastline, and moderate areas occupy 23%.*

Keywords*: Vulnerability, Coastal zone, Sea level rise, Climate change*

Introduction

Les changements du niveau de la mer observés sont particulièrement causés par l'expansion thermique de l'océan, la fonte des glaces continentales (glaciers de montagne et calottes polaires) et les échanges d'eau avec les terres émergées et l'atmosphère (J. A. Church *et al*. 2013, p.1140). Depuis le début du XX^{e} siècle, une élévation de 20 cm du niveau des océans a été enregistrée et s'est considérablement accélérée au cours des deux dernières décennies (V. Boré-Eveno,2022, p.721). Cette hausse du niveau marin a pour corollaires : l'érosion côtière, la submersion de zones basses, les inondations côtières, l'élévation des nappes phréatiques, la salinisation d'aquifères côtiers qui pourraient constituer des menaces potentielles pour les pays situés le long de la côte (P. DUMAS *et al*, 2018, p.794). Avec la hausse du niveau marin, les populations vivant dans les régions côtières de faible relief seront les plus exposées (E. Guilyardi, *et al*, 2019, p.11).

De nombreuses villes de l'Afrique de l'Ouest se trouvent parmi les villes portuaires africaines les plus exposées à la montée du niveau de la mer. À l'instar des villes situées le long des côtes du golfe de Guinée, Ouidah et Grand-Popo sont confrontées aux risques climatiques. Cette vulnérabilité des communes de Ouidah et de Grand-Popo au Bénin menace son développement économique, les écosystèmes côtiers et lagunaires, s'accroît avec une démographie en forte croissance (K. Dossou *et al*, 2007, p.65).

1. Présentation de la zone d'étude

L'aire d'étude prend en compt les Communes de Grand-Popo et de Ouidah. Elle est située entre 1°36' et 2°16' de longitude Est entre 6°12' et 6°30' de latitude Nord et couvre une superficie de 653Km^2 avec une densité de 336 habitants / km^2. (figure1).

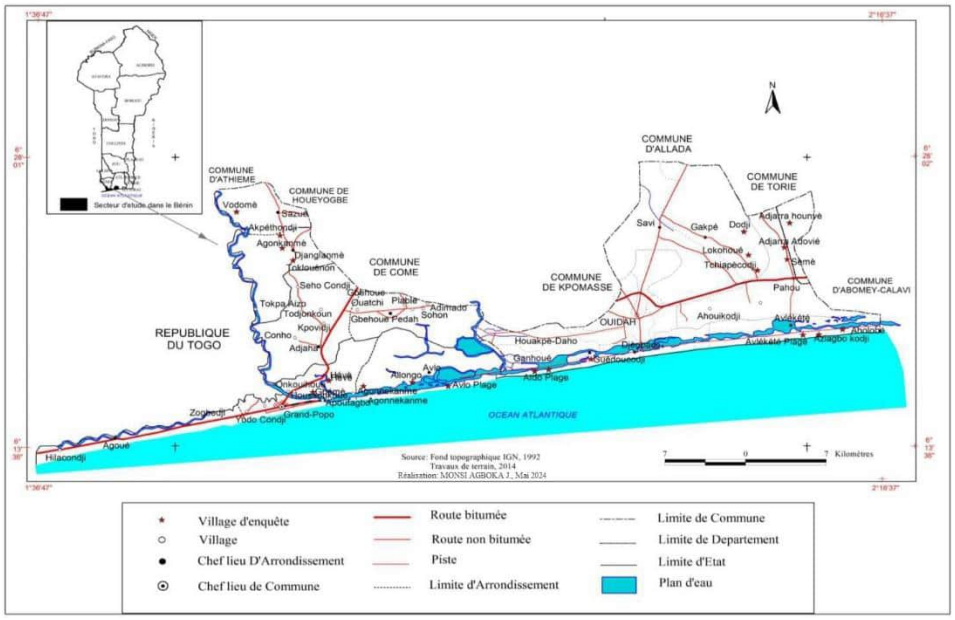


Figure 1. Situation géographique de Grand-Popo et de Ouidah

Administrativement, le secteur d'étude est limité au Nord par les Communes d'Athiémé, et de Houéyogbé d'une part d'Allada et Tori-Bossito d'autre part ; au Sud par l'océan Atlantique, à l'Ouest par la république du Togo et à l'Est par la Commune d'Abomey-Calavi.

2. Donnée et Méthode

2.1. Matériels et Données

Les données utilisées pour ce travail sont les variations interannuelles du niveau moyen de la mer calculée à partir des données altimétriques au large du Bénin sur la période de 1993 à 2013. Les données utilisées pour ce travail sont principalement constituées d'images satellitaires Landsat de résolution 20m du 01 mars 2004. Elles ont servi pour l'analyse des évolutions de la ligne de rivage de la ville de Ouidah et de Grand-popo et la détermination de certaines variables pour le calcul de l'indice de vulnérabilité côtière. Les images exploitées proviennent des catalogues d'images d'archives issues des satellites Landsat 7 et 8.

2.2. Traitement et analyse des données

2.2.1. Indice global de vulnérabilité côtière

L'indice global de vulnérabilité côtière (CVI) permet d'identifier les zones les plus sensibles d'un point de vue physique et socio-économique à l'élévation du niveau de la mer. Il est issu l'association de l'indice de vulnérabilité physique (PVI) et de l'indice de vulnérabilité socioéconomique (SVI). Cet indice est utilisé pour l'évaluation de la vulnérabilité des côtes ouest Africaine (O. A. Dada et *al*, 2024*).*

$$CVI = \frac{PVI + SVI}{2}$$

2.2.2. Indice de vulnérabilité physique (PVI)

L'évaluation de la vulnérabilité Physique sur la zone de recherche prend en compte les variables géophysiques suivantes : la pente de la côte ; Topographie (m), l'érosion/ accrétion de la ligne du rivage ; la remontée relative du niveau de la mer ; la hauteur moyenne des houles ; Marnage moyen. Le traitement relatif à chaque variable est intégré dans un modèle SIG créé pour le calcul de l'Indice de Vulnérabilité Physique (PVI) en utilisant une méthode de pondération de 5 degrés de cotation (un code de 1 jusqu'à 5). Le tableau I présente les Variables de vulnérabilité physique du littoral classé selon cinq niveaux de la classification côtière faite par l'USGS.

Tableau 1. Variables entrant dans le calcul de PVI

Variable	Très faible 1	Faible 2	Modéré 3	Elévé 4	Très élevé 5
Pente (%)	> 20	15_20	10_15	5_10	< 5
Topographie (m)	> 20	5_10	< 5		
Erosion ou d'accrétion (m/an)	> +6	-3 – 0	< -3	15_20	10_15
Remontée relative de niveau de la mer (mm/an)	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3 _ (+6,0)	0 _ (+3)
Marnage moyen	> 6,0	< 1,0		3,0 – 3,4	> 3,4
Hauteurs significatives des vagues à la	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,8	4,1 – 6,0	2,0 – 4,0
				2,0 – 4,0	1,0 – 1,9

Source : CENATEL (2007) et Amoussou

divisées par quantiles. Chaque partie indique le degré de vulnérabilité de la côte à l'élévation de niveau de la mer : faible vulnérabilité (PVI < 25 %), vulnérabilité modérée (25 % < PVI < 50 %), vulnérabilité élevée (50 % < PVI < 75 %), vulnérabilité très élevée (PVI > 75 %). Cette démarche méthodologique nous a permis d'abouti aux résultats suivants :

3. Résultat

3.1. Variation du niveau de la mer

3.1.1 Niveau de la mer de la zone côtière Ouidah Grand-Popo et projection

Il est observé au large des côtes béninoises précisément à Ouidah et à grand-Popo une tendance à l'augmentation du niveau marin sur la base des données altimétriques journalières (DG-Eau, 2015) comme l'illustre la figure 2.

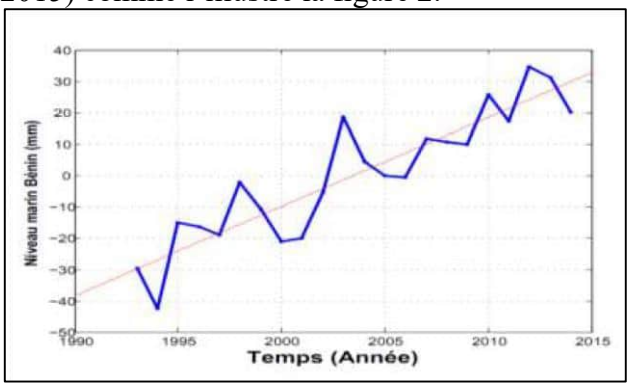


Figure 2. Variations interannuelles du niveau moyen de la mer calculée à partir des données altimétriques au large du Bénin.

La figure 4 présente une variation du niveau marin à Ouidah et à grand-Popo. Il est observé des pics d'élévation allant de 25 mm en 2010 mm, 45 mm en 2012 et 31 mm en 2013 et des niveaux bas significatifs au cours de la période 2000-2003 et 2006 à 2009. Selon le rapport de DG-Eau « Détermination des seuils et niveaux d'alerte relatifs aux risques d'élévation du niveau de la mer et d'érosion côtière au Bénin », la vitesse d'augmentation moyenne du niveau marin au large du Bénin est de 2,80 ± 0,01 mm/an. De 1993 à 2013, on note le niveau de la mer qui est à 2 cm au large de la côte béninoise.

3.1.2 Degré de vulnérabilité des différentes variables de l'indice de vulnérabilité côtière physique.

- **Pente côtière :**

La pente sur l'ensemble du littoral de Cotonou est généralement faible. Elle est donc plus sensible aux différents aléas que sont l'érosion et la submersion marine. Le degré de vulnérabilité de liés à la variable pente sur le littoral de Cotonou a été évalué et se présente comme suit (figure 3) :



Figure 3. Classification de la variable pente selon les différentes catégories de vulnérabilité physique.

La figure 3 montre que 33 % soit 9,28 km du littoral de Ouidah et de grand-popo présente une vulnérabilité élevée, avec des pentes côtières comprises entre 5 et 10%. Un linéaire de 8,63 km soit 31 % du littoral présente une faible vulnérabilité, Il est suivi par la vulnérabilité modérée qui s'étend sur 8,45 km soit 30 % du littoral. Par contre, 1,47 km du littoral (soit 5 %), est exposé à une vulnérabilité très élevée, avec des pentes inférieures à 5 %.

- **Topographie**

Le littoral se trouve dans une plaine côtière du bassin sédimentaire du Bénin et est caractérisé par une topographie faible. La figure 4 présente le degré de vulnérabilité du littoral de Cotonou lié à cette variable.

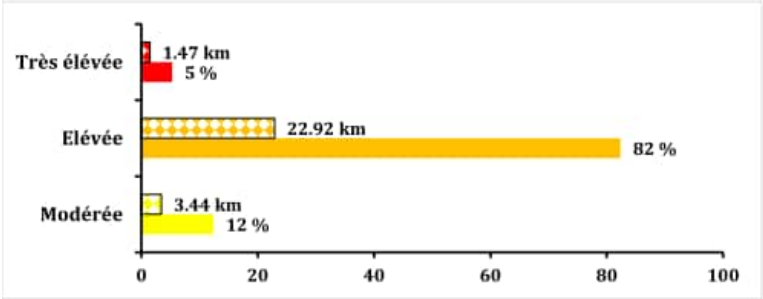


Figure 4. Classification de la variable topographie selon les différentes catégories de vulnérabilité physique

De l'analyse de la figure 4, on constate que plus du tiers du littoral étudié soit 82 % présente une vulnérabilité élevée. Cette vulnérabilité s'étend sur un linéaire de 22,92 km). La vulnérabilité modérée quant à elle s'étend sur un linéaire de 3,44 km soit 12 % du littoral. Enfin, zone du littoral exposé à une forte vulnérabilité occupe 5 % du linéaire soit 1,47 km.

La vulnérabilité très élevée est constatée sur 5 % du littoral pour un linéaire de 1,37 km. (figure 5)

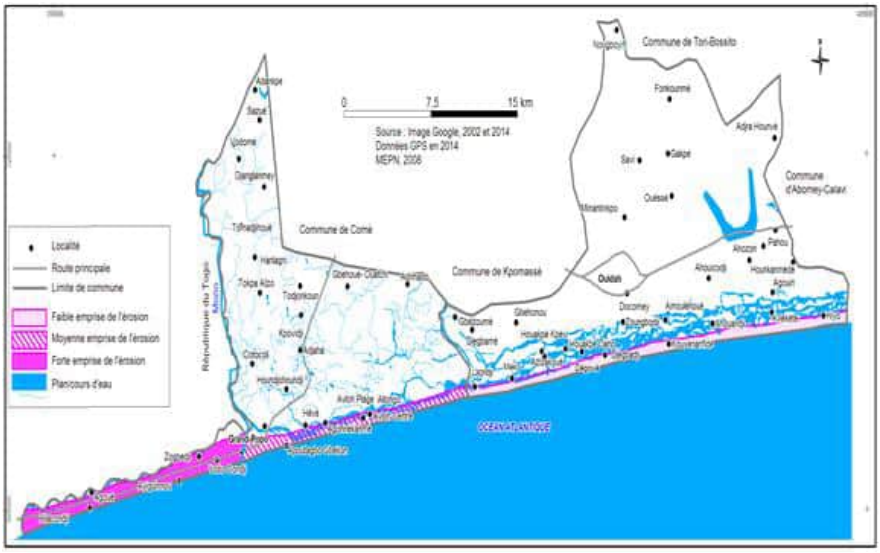


Figure 5. Erosion côtière dans les Communes de Grand-Popo et de Ouidah
***Source** : Image Google, 2002 et 2014 ; MEPN, 2008 et travaux de terrain 2024*

L'analyse de cette figure montre que la zone Hilla-condji-Grand-Popo est exposée à une forte emprise de l'érosion tandis que toute la ville de Grand-Popo est moyennement confrontée à cette emprise de l'érosion. Quant à la ville de Ouidah, elle est faiblement exposée à cette emprise de l'érosion. L'érosion côtière a beaucoup détruit dans la zone de Hilla-condji –Grand-Popo que celle de Ouidah

La figure 6 présente la carte de vulnérabilité

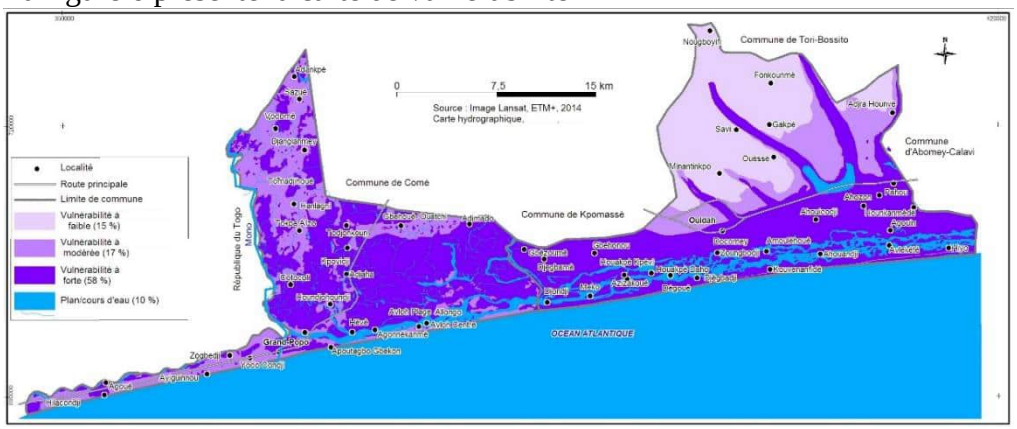


Figure 6. Vulnérabilité dans les Communes de Grand-Popo et Ouidah

Le littoral de Cotonou est très vulnérable du point de vue socio-économique avec la moitié de son linéaire qui présente une sensibilité élevée aux variables socio-économique.

3.2. Discussion

La zone côtière Ouidah Grand-Popo fait face aux aléas naturels que sont l'érosion et la submersion marine. Ces aléas risquent de s'aggraver avec l'élévation du niveau marin. Il est constaté de 2004 à 2024, une érosion qui va jusqu'à -12, 09 m /an à l'est du secteur d'étude dans un tiers des arrondissements tandis qu'une accrétion qui engendre des dépôts réguliers de sédiment faisant gagner des superficies de plage à l'est de cette même zone côtière de près de 6, 75 m /an.

Il est observé une élévation de l'ordre de 3,61 mm/an au niveau mondial de 1993 à 2024 d'après les observations des satellites Jason-1Topex/Poseidon puis Jason-2- Jason-1. Cette tendance à l'élévation du niveau marin ne risque pas de s'arrêter. Au large de Cotonou, durant la période de 1993 à 2015, les valeurs de la variation interannuelle du niveau moyen de la mer sont passées de -30 mm à 20 mm et on enregistre une vitesse

d'augmentation du niveau marin qui est de 2,80 mm/an (Dg-Eau, 2015). Ce taux confirme la tendance dans le Golfe de Guinée où d'après A. DIEYE *et al*, (2021), il est enregistré une tendance à l'augmentation des eaux du Golfe de Guinée avec une vitesse de 3,64 mm/an sur la période de 1993 à 2016 et une hausse est enregistrée près des côtes de l'Afrique de l'Ouest.

Conclusion

La présente recherche fondée sur la vulnérabilité de la zone côtière face aux changements climatiques a permis de connaître les impacts de la variabilité climatique sur la zone côtière. Cette variabilité dégrade le milieu par l'érosion et l'avancement de l'océan qui, plus d'un siècle a ravagé des lieux, des bâtiments et autres. Les zones vulnérables du littoral de Ouidah et de Grand-popo ont été identifiées grâce au calcul de l'indice de vulnérabilité côtière. Deux cartes ont pu être établies afin de montrer les divers degrés de vulnérabilité. Ainsi, les vulnérabilités élevées à très élevée, face aux risques d'érosion sont situés au niveau des zones ayant enregistré une forte érosion côtière, très urbanisé et une faible topographie. Les vulnérabilités modérées à faibles se situent au niveau des zones ayant bénéficié des ouvrages de protection de la côte.

Bibliographie

Arame DIEYE. (2019). Variations actuelles du niveau de la mer près des côtes ouest africaines, université Assane Seck de Ziguinchor, mémoire de master 2, 49p.

Church JA, Clark PU, Cazenave A, Gregory JM, Jevrejeva S, Levermann A, Merrifield MA, Milne GA, Nerem RS, Nunn PD, Payne AJ, Pfeffer WT, Stammer D, Unnikrishnan AS (2013) Sea level change. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, 1137-1215p.

Dossou K., Glehouenou-Dossou B. (2007). The vulnerability to climate change of Cotonou (Benin): the rise in sea level. Environment and Urbanization, Vol. 19(1), pp 65-79.

Dumas, P., Lendre, S., LE DUF, M., & Allenbach, M. (2018). Cartographie du risque de submersion lié à l'élévation du niveau de la mer sur l'atoll d'Ouvéa (Nouvelle-Calédonie): vers un outil de gestion de la zone côtière. Actes des XV èmes Journées Nationales Génie CôtierGénie Civil, 793-804.

Guilyardi, E., Lescarmontier, L., Matthews, R., Point, S. P., Rumjaun, A. B., Schlüpmann, J., & Wilgenbus, D. (2019). Rapport spécial du GIEC" Réchauffement à 1, 5° C : résumé à destination des enseignants.

Valérie Boré-Eveno (2022) : Les répercussions de l'élévation du niveau des mers sur les relations internationales, Défis juridiques et impacts géopolitiques ; *Annuaire français de relations internationales*, pages 721 à 737.

IMPACTS DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES SUR LES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE DANS LES COLLÈGES D'ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL DANS LE DÉPARTEMENT DE LA BOUENZA (CONGO-BRAZZAVILLE)

Prisca Elisabeth N'SITA BAKEMITA

Centre de Recherches et d'Études sur l'Environnement – CR2E , École normale supérieure, Université Marien Ngouabi ; BP 3162 Brazzaville, site www.cr2e.cg, République du Congo, priscansita2023@gmail.com, Tel. : +242 06 513 67 51

Résumé : *Le présent travail analyse les impacts du climat sur l'apprentissage des apprenants dans les collèges d'enseignement général du département de la Bouenza dans un contexte de changement climatique. Pour cela, nous avons utilisé différentes données climatiques et celles issues de l'observation de terrain. Les diverses données collectées ont fait l'objet de traitements statistiques. Les observations directes de terrain et les enquêtes auprès des établissements scolaires sont utilisées dans le cadre de cette étude. Les résultats indiquent que les précipitations présentent une tendance instable de 1950 à 2019 alors que les températures augmentent au cours de 1950 à 2007. À cette évolution des températures et des précipitations s'ajoutent des vents violents plus fréquemment présents menaçant e bon déroulement des activités scolaires.*

Mots clés : *Bouenza, changement climatique, impacts*

Abstract: *The present work analyzes the impacts of climate on learner learning in general-education colleges in the Bouenza department in a context of climate change. To do this, we used various climatic data and data from field observation. The various data collected were statistically processed. Direct field observations and school surveys are used in this study. The results indicate that precipitation shows an unstable trend from 1950 to 2019, while temperatures increase over the period 1950 to 2007. This trend in temperature and precipitation is compounded by more frequent high winds, threatening the smooth running of school activities.*

Keywords : *Bouenza, climate change, impacts*

Introduction

Les conditions climatiques avec les évènements extrêmes peuvent affecter profondément l'apprentissage des élèves dans le département de la Bouenza dans le Sud-Congo (figure 1), ceci dans un contexte de changement climatique. Les évènements climatiques extrêmes peuvent induire les perturbations au calendrier scolaire. Les impacts du changement climatique sont considérables dans le milieu scolaire, les effets se font déjà sentir dans le monde rural ou urbain. Muzamil H. A. H. (2023) pour lui comme les apprenants souvent des enfants et des jeunes sont l'un des groupes les plus vulnérables aux effets du changement climatique. Les enfants sont plus sensibles aux risques posés par les conditions météorologiques extrêmes et d'autres dangers liés au climat. La présente étude vise à analyser les conditions imposées par les évènements climatiques extrêmes dans l'apprentissage des apprenants.

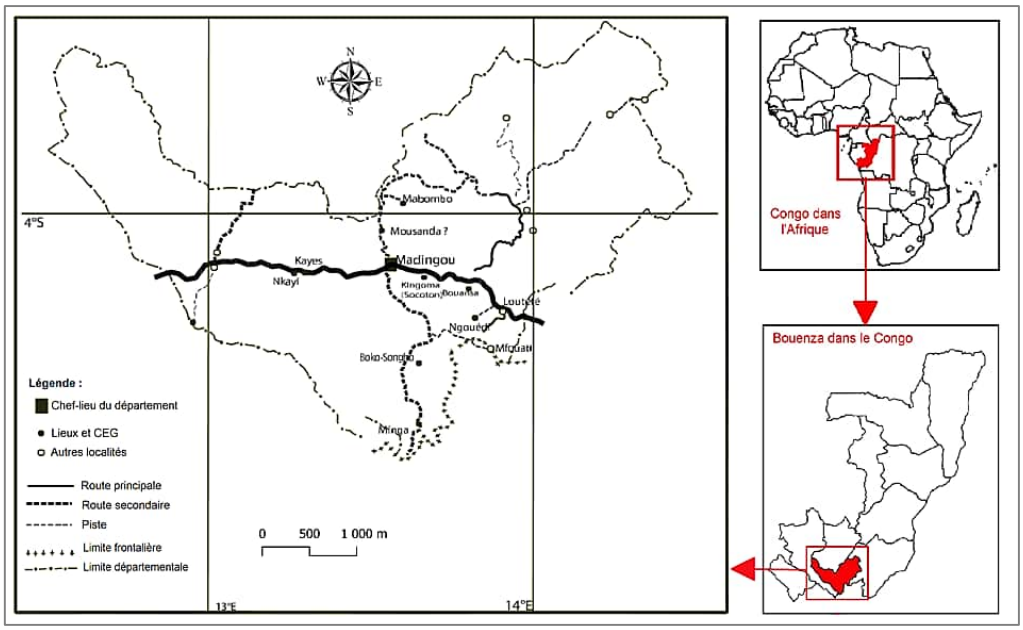


Figure 1 : Localisation des collèges d'Enseignement Général du département de la Bouenza 1

1. Données et méthodes

1.1. Données

Pour réaliser ce travail nous avons constitué des fichiers de données climatiques (précipitations, températures de l'air, vent, insolation, etc.) fournies par le service de la Météorologie Nationale du Congo (ANAC) pour la période de 1950 à 2019 au pas de temps mensuel. À ces données climatiques s'ajoutent les données sur le nombre des apprenants vulnérables, près de 2300, le nombre des bâtiments vulnérables environ 30, les types des intempéries, issues du dépouillement des archives administratives, des observations directes de terrain, des entretiens individuels ou focus group et enfin une collecte des données par questionnaire d'enquête auprès des apprenants et enseignants. Après la collecte, ces données ont été intégrées dans la base des données développée par le Laboratoire de Recherche et d'Études sur l'Environnement (LR2E). Les données de l'observation directe de terrain concernent les photos sur les bâtiments scolaires de la Bouenza ayant subi divers dommages liés aux fluctuations climatiques.

1.2. Méthodes utilisées

Les méthodes utilisées dans le cadre de la présente étude comprennent la collecte des données au moyen des données d'observation directe et du dépouillement des archives météorologiques. À cela s'ajoutent le traitement et l'analyse des données. Aussi, nous avons constitué des fichiers de données sur le nombre des apprenants vulnérables, des bâtiments vulnérables, les types des intempéries, issues des observations directes de terrain. La présente étude est conduite dans 12 collèges d'enseignement Général du département de la Bouenza. L'instrument de l'enquête a été les questionnaires auprès des apprenants de différents niveaux scolaires. Les méthodes statistiques renvoient au calcul de la moyenne arithmétique, de l'écart- type, du coefficient de variation, des anomalies et moyennes mobiles.

2. Résultats de l'étude

2.1. Conditions climatiques

Les conditions climatiques affectent l'environnement des apprenants. Il peut s'agir du rythme et de l'évolution des précipitations des températures de l'air, des vents et de

l'ensoleillement. Le calendrier scolaire calqué sur la saison pluvieuse expose les apprenants aux fortes intempéries.

Le régime pluviométrique de Madingou est de type bimodal avec une alternance des mois humides et moins humides (figure 2). Deux pics pluviométriques sont enregistrés pendant les mois de novembre et de mars. Les mois de mai, juin, juillet et août correspondent à une saison moins pluvieuse. Cependant, une telle période concerne les vacances scolaires.

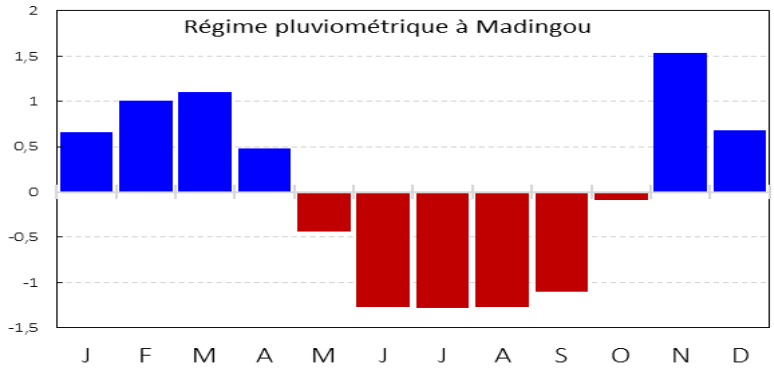


Figure 2. Régime pluviométrique

La figure 3 dénote l'évolution interannuelle des précipitations allant de 1950 à 2019 dans le département de la Bouenza. Elle indique une stabilité autour de la moyenne de 1170 mm. De manière empirique, on sait que les précipitations connaissent des fortes perturbations avec beaucoup d'évènements extrêmes : pluies intenses et violente, vents violent, rosée et brouillard matinal.

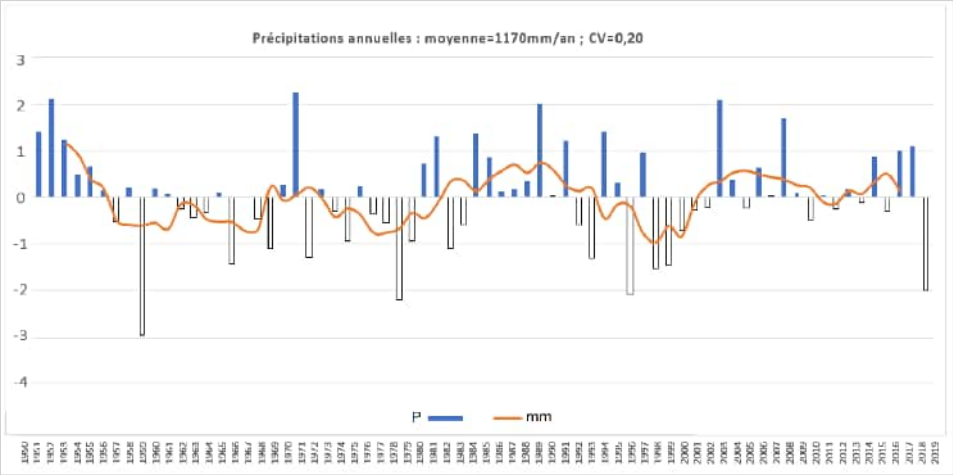


Figure 3. Evolution des précipitations à Madingou (1950-2019)

Les températures minimales et maximales (figure 4 a et b) augmentent de 1950 à 2019, une tendance qui semble aller dans le sens du réchauffement global. Dans les milieux scolaires de la Bouenza, la hausse des températures implique des conditions écologiques peu adaptées notamment l'inconfort thermique dans les salles de classe. Sans nul doute, les chaleurs excessives impactent sur les conditions d'apprentissage dans de nombreuses salles de classe des 12 collèges de Bouenza 1.

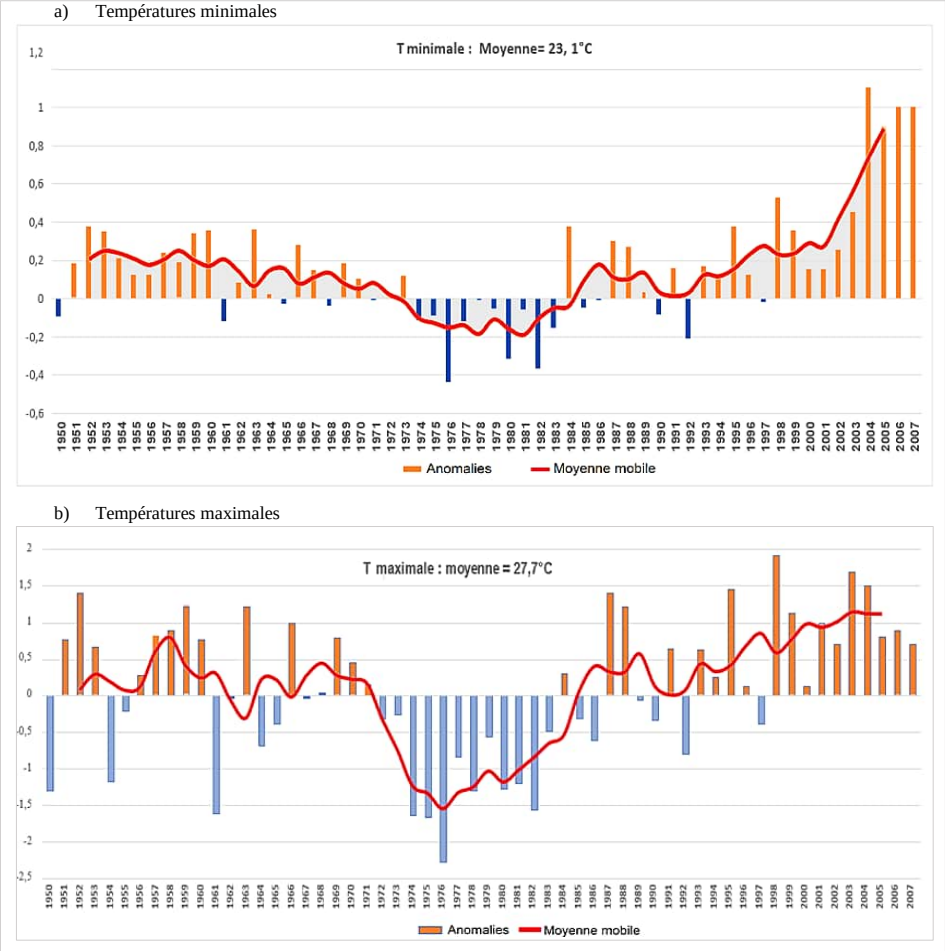


Figure 4. Évolution des températures minimales (a) et maximales (b) à Madingou (1950-2007)

1.2. Événements climatiques extrêmes

Les éléments climatiques influencent négativement sur l'éducation et le développement futur des apprenants. D'après nos observations voici quelques manières dont les éléments climatiques peuvent affecter l'environnement d'apprentissage :

- les vents violents (photo 1) privent le bâtiment de sa toiture exposant les apprenants aux différentes intempéries ;
- les chaleurs extrêmes (photo 2), exposent aux rayonnements matinaux dans la salle de classe ;
- vents violents et après ensoleillement (photo 3) le bâtiment ayant perdu sa toiture exposant les apprenants aux différentes intempéries ;
- pluies matinales et abondantes empiètent sur le déroulement des enseignements ;
- brouillard et rosées matinales (photo 4), empêchant les enfants d'arrivée à temps à l'établissement. Quelquefois les enfants arrivent avec les tenues scolaires toutes mouillées.

Les effets climatiques peuvent empêcher le bon déroulement des cours, perturbant ainsi, l'apprentissage et l'exécution du programme scolaire. Les écoles situées dans des zones sujettes aux événements extrêmes sont en grande partie dans en zone rurale où il manque des moyens d'interventions rapides. La chaleur extrême peut rendre difficile la concentration des apprenants, entraînant une baisse des résultats scolaires. Dans certains cas, les écoles, par la nature des bâtiments perturbe davantage le cadre de l'éducation. Les pluies matinales reconnues localement « Mvula za mené » en Ndodo ou « Mudumbi » en Kamba, entrainent l'arrêt des cours dans de nombreuses écoles. De meme, la rosée matinale « kinoko ou munoko » constitue un grand handicap pour se rendre à l'école à travers les pistes rurales.

Dans le monde rural, culturellement l'enfant sait reconnaitre les paysages, il les côtoie et s'épanouit vite dans son écosystème. Le changement climatique limite l'accès des élèves à la nature, dont il a été démontré qu'elle a un impact positif sur la santé mentale, la créativité et le développement cognitif de l'apprenant.



Photo 1 : Toiture du CEG emportée par un vent violent Congo-Brazzaville (prise de vue anonyme)



Photo 2 : Salle de classe CEG Kingoma Madingou ensoleillée complètement (prise de vue, Samba, 2025)



Photo 3 : *exemple d'une t*oiture victime de vent violent (prise de vue anonyme)



Photo 4 : Brouillard matinal dans la vallée du Niari vers Ngouédi (prise de vue N'sita, 2025)

Les conséquences du changement climatique sur l'éducation sont vastes et potentiellement dévastatrices :

- à court terme : les phénomènes climatiques extrêmes peuvent entrainer la fermeture ou la relocalisation des écoles. Les infrastructures scolaires sont souvent endommagées ; ceci entraîne une augmentation des coûts de réparation et de reconstruction.
- à long terme : le changement climatique pourrait exacerber les inégalités existantes en matière d'accès à l'éducation, ainsi que la qualité de l'éducation reçue.

1.3. Effets du climat sur le développement des élèves

Le changement climatique rend déjà le monde rural plus difficile à vivre et ses effets sont particulièrement durs pour les enfants et les jeunes en conditions d'apprentissage. Un nouveau rapport analytique de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2024) révèle que le changement climatique a un impact négatif sur la santé physique et mentale des élèves, ainsi que sur leur capacité d'apprentissage. L'augmentation de la fréquence des phénomènes climatiques extrêmes : les pluies matinales, les rosées matinales et vents violents, etc. Tous ces différents impacts peuvent entraîner des journées d'école manquées et une diminution des performances scolaires. Enfin, le changement climatique affecte les capacités de réflexion des élèves.

Discussion

Dans le département de la Bouenza, les précipitations (1950-2019) connaissent une tendance instable et les températures augmentent allant de 1950 à 2007. Les travaux de N'sita B. P. E. (2023) confirment ces résultats. Par ailleurs, les fluctuations climatiques incombent les conditions d'apprentissage des apprenants : le cumul pluviométrique, les vents violents voire l'inconfort thermique. Telle est la conclusion étaient parvenus les travaux de Samba G. (2020) et de la Food and Agricultural Organization (FAO, 2021). Les auteurs cités montrent que le secteur éducatif paie un lourd tribut face au climat.

Conclusion

Dans le département de la Bouenza, les précipitations et les températures présentent des tendances opposées : les précipitations sont instables alors que les températures augmentent. Le climat influence sur les conditions d'apprentissage des élèves : pluies matinales, des rosées matinales ; les brouillards matinaux épais, des chaleurs. Ce qui rend vulnérable le secteur éducatif dans cette zone du pays. En perspectives, la présente étude s'ouvre sur la perception des phénomènes climatiques par les apprenants de la classe de 6e dans les CEG de la Bouenza 1 au Congo-Brazzaville.

Bibliographie

FAO, 2021 : Cadre de gestion des risques environnementaux et sociaux en République du Congo, Projet d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques, Brazzaville, 148 p.

Muzamil Hussain Al Hussaini, 2023: Impact of Climate on Student Education and Their Future Development, in

Internasional Journal of Integrative Sciences (IJIS), Vol.2, No.4, 2023: 525-
534.

N'sita Bakemita P. E., 2023 : Compréhension de l'espace en géographie pour les apprenants de la classe de 6e à l'inspection des CEG Brazzaville 3, Mémoire de Master Chaire UNSECO, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 67 p.

OMS, 2024 : Le changement climatique a un impact sur la santé en Afrique. Résumé analytique, aho.afro.who.int, 10 p.

Samba G., 2020 : Le climat du Congo-Brazzaville, Paris, Éd. L'Harmattan, Coll. « Études africaines », 241 p.

RISQUES ET IMPACTS SOCIO - ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FACE AUX INDUSTRIES DE BOIS DANS L'ARRONDISSEMENT DE GODOMEY (COMMUNE D'ABOMEY – CALAVI)

Romaric OGOUWALE[1],

[1] *Laboratoire Pierre PAGNEY « Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement » (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (Bénin). Courriel : ogou25@yahoo.fr*

Résumé : *La gestion des risques et l'atténuation de l'impact socio-environnemental sont cruciales pour les industries du bois à Godomey, face au changement climatique et pour un développement durable. Cette recherche visait à améliorer cette gestion, en utilisant une approche méthodologique basée sur la collecte et l'analyse de données (modèle SWOT) auprès de 15 industries. Les résultats révèlent que seules 2 industries sur 15 respectent les normes de protection individuelle, signalant un manque général de conformité. Cela entraîne des impacts sanitaires majeurs pour les travailleurs : 100 % souffrent de troubles auditifs et respiratoires (poussières), 80 % sont victimes d'accidents liés aux machines (toupie, scie, etc.) et de troubles musculosquelettiques. Ce constat souligne l'urgence d'améliorer la gestion des risques professionnels et environnementaux dans ce secteur au Bénin.*

Mots clés : *Gestion, risques, impact, socio - environnementaux, industries de bois.*

Abstract: Socio-environmental risks and impacts of climate change on wood industries in the Godomey District (Municipality of Abomey – Calavi). *Risk management and socio-environmental impact mitigation are crucial for the woodworking industry in Godomey, in the face of climate change and for sustainable development. This research aimed to improve this management, using a methodological approach based on data collection and analysis (SWOT model) among 15 industries. The results reveal that only 2 out of 15 industries comply with personal protection standards, indicating a general lack of compliance. This leads to major health impacts for workers: 100% suffer from hearing and respiratory disorders (dust), 80% are victims of machine-related accidents (rotating router, saw, etc.) and musculoskeletal disorders. This finding underlines the urgency of improving occupational and environmental risk management in this sector in Benin.*

Keywords : *Management, risks, impact, socio-environmental, wood industries.*

Introduction

Le bois est un matériau de construction majeur, renouvelable et reproductible dans un cycle continu. Malgré son importance de par son exploitation dans les industries de bois elle représente une menace à cause de ces risques et impacts socio – environnementaux dans le monde. Depuis quelques années, un nombre croissant de publications de colloques, de programme de recherche, se réfèrent aux risques environnementaux, une forme émergente de risques, et qui apparait de plus en plus présente dans l'univers moderne de « la société du risque » (V. Herbert, 2009, p2). De nombreux accidents se produisent dans le monde et causent des dégâts sur les plans humain et matériel (A. L Chikouché, 2018, p13). Selon l'OIT 2013, on dénombre dans le monde 317millions d'accidents du travail, 160 millions de maladies professionnelles et 321 000 personnes meurent chaque années d'accidents du travail (H. Nissoul *et al*, 2014, p.14). Le nombre global d'accidents de travail non mortels est estimés entre 250 et 334 millions et le nombre d'incapacités permanentes à 12 millions de nouveaux cas chaque année (J.f. Caillard, 2000, p.1). L'absence d'une politique de gestion des risques est préjudiciable aux entreprises et peut créer des défaillances des systèmes financiers, politiques, industriels, sociaux, etc (Ouédraogo *et al*, 2019 ; Kouabenan *et al*, 2007). Au Bénin dans l'arrondissement de Godomey, situé dans

En somme, la gestion des risques et impact socio- environnementaux dans les industries de bois dans l'arrondissement de Godomey est un enjeu crucial qui nécessite une approche proactive et collaborative pour assurer la durabilité et la résilience de la région face aux défis actuels et futurs.

1. Présentation du milieu d'étude

Le secteur d'étude de cette recherche est situé dans le département de l'Atlantique et plus précisément au Sud de la commune d'Abomey - Calavi.

Situé à 08 km environ de Cotonou dans le Sud de la ville d'Abomey - Calavi du territoire béninois, l'arrondissement de Godomey est localisé entre 6°21'36'' et 6°26'24'' de Latitude Nord et 2°16'5'' et 2°21'7'' du Longitude Est. Il est limité au Nord par les arrondissements de Ouèdo, Hevié et Togba, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Est par la commune de Cotonou et le lac Nokoué et à l'Ouest par la commune de Ouidah.

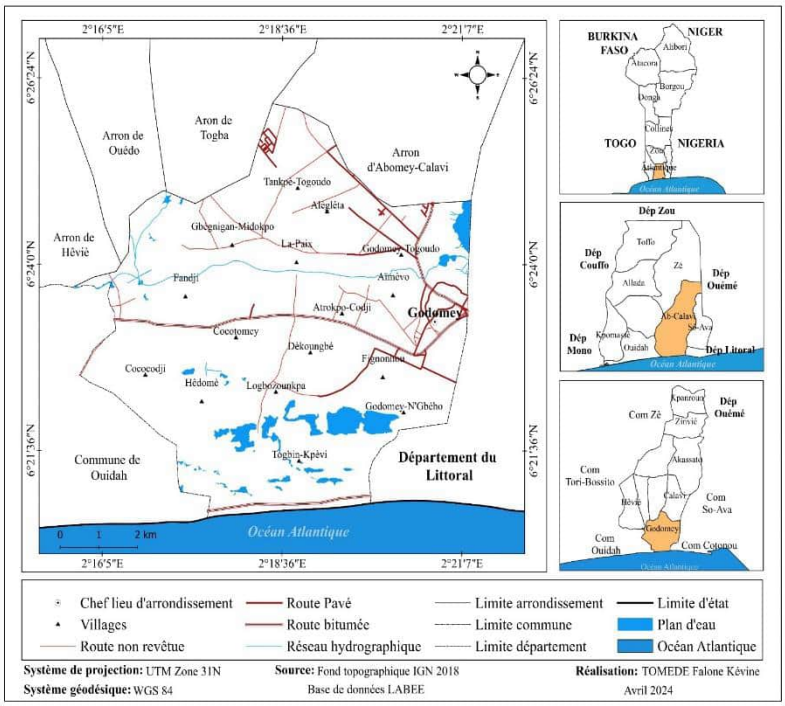


Figure 2. Situation géographique de l'arrondissement de Godomey
Source : Fond topographique IGN 2018

2. Méthodologie

Elle fait cas de l'approche méthodologique adoptée. Elle a consisté en la collecte et le traitement des données puis l'analyse des résultats.

Les données utilisées, sont:

- Statistiques démographiques de l'INStaD (RGPH de 1992, 2002, 2023) pour voir l'évolution de la population,
- Relevés climatiques de Météo Bénin, pour connaitre les hauteurs de pluies ainsi que les mois,
- Données cartographiques, issues du logiciel Arc Gis,
- Données socio-environnementaux issus des enquêtes de terrain.

Pour recueillir les données sur le terrain, la technique d'enquête que nous avons utilisée était l'entretien direct. Les questionnaires ont été soumis aux ouvriers qui travaillent sur les unités industrielles et aux personnes qui sont à proximité des entreprises. Le guide d'entretien a été soumis au responsable des entreprises de bois. Nous avons aussi utilisé la Méthode Active de Recherche participative (MARP) afin de bien aborder la population

L'échantillonnage a été déterminé par la méthode d'échantillonnage raisonnée, fondée sur les principes de représentativité proportionnellement à la taille des ménages tout en étant concentré sur un certain nombre de critères. Au nombre de ces critères, notons en premier lieu que les personnes interrogées ont au moins dix-huit (18) ans. Par ailleurs, la population cible est essentiellement constituée des personnes de l'entreprise.

L'enquête s'est déroulée dans tous l'arrondissement de Godomey. L'échantillonnage par choix raisonné a été privilégié dans le cadre de cette recherche.

3- Résultats et discussion

Il présente les résultats et discussions sur la gestion des risques et impacts socio-environnementaux dans les industries de bois dans l'arrondissement de Godomey. La première section aborde les résultats issus des enquêtes de terrain et la seconde section aborde les discussions.

3.1. Différents acteurs intervenants dans les industries de bois

Les industries de bois de Godomey comprennent trois (03) rayons d'activité il s'agit de (i) réception et stockage des madriers, (ii) salle des machines et (iii) ateliers de menuiserie. Le tableau I présente les acteurs qui interviennent dans chaque rayon d'activité.

Tableau 1. Acteurs et les rayons d'intervention

Acteurs	Rayons d'activité
Employés occasionnels	Réception et stockage des madriers
Employés, Raboteur, Scieur,	Salles des machines
Apprentis, chefs menuisiers	Atelier de menuiserie

Source : Enquête de terrain, Avril 2024

Le tableau I présente les acteurs et les rayons d'intervention dans les industries de bois. Trois (03) rayons d'activité composent les industries de bois de l'arrondissement de Godomey. Au niveau du premier rayon qui est la réception et stockage des madriers c'est-à-dire le déchargement des marchandises de madriers, ce sont les employés occasionnels qui interviennent dans ce domaine.

3.2 Risques et impacts socio - environnementaux face au changement climatique dans les industries de bois dans l'arrondissement de Godomey

Les opérations au sein des industries de bois de Godomey exposent les employés à divers risques environnementaux, sanitaires et sécuritaires ; elles impactent aussi la société et l'environnement. Cette section aborde l'analyse des risques et impacts sociaux et environnementaux dans les industries de bois de Godomey.

3.2.1 Risques socio environnementaux dans les industries de bois de Godomey.

Les opérations au sein des industries de bois exposent les employés à des risques liés aux poussières de bois et au bruit. La figure 2 présente les différents risques corporels et sanitaires liés aux opérations dans les industries de bois.

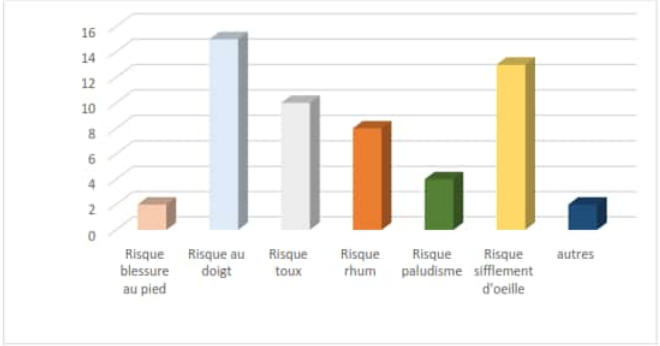


Figure 2. risques corporels et sanitaires liés aux opérations dans les industries de bois.

Source : *Enquête de terrain, Avril 2024*

La figure 2 présente la tendance des différents risques corporels et sanitaires liés aux opérations dans les industries de bois. De l'analyse de cette figure, on notifie un pourcentage (100 %) de risque blessure au doigt qui occupe la première place parmi les risques. Cela montre que c'est la partie du corps qui est la plus affectée lors des opérations au sein des industries de bois, surtout au cours des activités sur les machines. Suivi de sifflement d'oreille (87 %) causé par les bruits des machines, de risque toux (60 %), de risque rhum (47 %), de risque paludisme (20 %). Enfin risque blessure au pied (14 %) et d'autres risques

comme la fatigue générale. Il est à retenir que ce sont les poussières de bois qui causent les risques toux et rhum.

Tableau 2. Récapitulation des risques courus par les acteurs dans les industries de bois

Acteurs	Risques	Importances	Mesures
Employés occasionnel	Blessure au pied	Forte	Le port des chaussures de sécurité
	Blessure au doigt	Moyenne	Le port des gants
Raboteurs	Sifflement d'oreille	Forte	L'usage des casques communiquant, casques anti- bruit, bouchons d'oreilles moulées, des caches nez et des lunettes de protection.
	Toux	Moyenne	
	Rhum	Moyenne	
	Blessure au doigt	Forte	Maintenance régulière des machines
Scieurs	Sifflement d'oreille	Forte	Sensibilisation des employés sur la nécessité des équipements de protections. Choisissez les machines les moins bruyants lorsque cela est possible et maintenez en état les capotages
	Toux	Moyenne	
	Rhum	Moyenne	
	Blessure au doigt	Forte	
Toupilleurs	Sifflement d'oreille	Forte	
	Toux	Moyenne	
	Rhum	Moyenne	
	Blessure au doigt	Forte	
Menuisiers	Troubles Musculo - Squelettiques (TMS)	Forte	Adopter les gestes et postures les plus adaptés
	Blessure au doigt	Moyenne	Le port des gants
	Toux	Moyenne	Le port des caches nez

Source : Enquête de terrain, Avril 2024

Le Tableau II présente la récapitulation des risques courus par les acteurs au sein des industries de bois. De ce tableau, il ressort des enquêtes menées que les acteurs intervenants dans ce secteur sont (les employées occasionnels, les raboteurs, les scieurs, les toupilleurs, les menuisiers) et que chacun de ses acteurs sont exposé à des risques spécifique au cours de leurs travails. Les employées occasionnelles sont principalement exposées à des risques de blessure au pied ce qui a une forte importance sur leurs santés

3.3. Vulnérabilité de la population face au changement climatique

Les résultats issus de cette recherche, montrent une forte variabilité pluviométrique interannuelle dans le milieu d'étude. Cette variabilité est due à la réduction et la mauvaise répartition spatiale et temporelle des pluies qui perturbent les activités industrielles. Il ressort de l'analyse des données pluviométriques, les activités de bois dans les industries et commercialisation sont confrontées aux phénomènes des inondations. On constate le ralentissement de leurs activités dans la période. Pendant la période sèche, elles sont pour la plupart confrontées aux problèmes de pénurie de bois. Enfin le changement climatique a des répercussions sur les activités est aussi vulnérable pour les populations de Godomey.

Conclusion

Au terme de cette étude portant sur « Risques et impact socio-environnementaux face au changement climatique dans les industries de bois dans l'arrondissement de Godomey commune d'Abomey- Calavi », il est remarqué que l'approche méthodologique adapté, a permis de caractériser les acteurs intervenants dans chaque activités de ce domaine, d'analyser les risques et impacts socio-environnementaux dans les industries de bois dans l'arrondissement de Godomey et de déterminer les stratégies de gestion de ces risques et impacts socio- environnementaux dans ces industries. Les résultats obtenus de ces 15 industries de bois parcourues et qui sont inégalement répartie dans l'arrondissement de Godomey ont permis de relever les différents risques sanitaires auxquels ils sont exposés

durant le travail. Afin de réduire ces risques et impacts socio- environnementaux des approches de solution ont été proposées ; pour leurs gestions efficaces des actions à menées par les autorités sont entre autre : sensibiliser les promoteurs des industries, subventionné les équipements de protection, créer des centres de santé spécifique pour leurs soins médicaux, mettre en place des sociétés de prise en charge en cas d' accident grave et autres dommages causé au cours du travail, veillée à l'utilisation des boites de pharmacie dans ces industries, informé et conscientiser les concernées sur les lois et réglementations en vigueurs concernant leurs domaine pour l' atténuation de ces risques et impacts liées aux différentes opérations dans les industries de bois..

Bibliographie

-Ahmed Lamine CHIKOUCHE (2018) : Analyse et maitrise des risques associés à la perte de flamme et au ratage d'allumage dans le four lors de la fabrication du ciment cas de : LAFARGE Ciment de M'sila, Algérie, Mémoire de Post- Graduation Spécialisée En QHSE – GRI, 151p.

-KOUABENAM, Dongo Rémi, CADET, Bernard, HERMAND, Daniel, *et al*. Psychologie du risqué. De Boeck, 2007.

-LAGNIKA Sémirath Brice Mondoukpè (2009) « La gestion des risques environnementaux au sein des entreprises immobilières, mémoire de maitrise en sciences de l'environnement, 134p.

-MERADA Soufiane et BELHAMDI Zine Eddine (2023) : « Analyse des risques générés par une installation industrielle » mémoire de master en génie mécanique Option : Techniques de production industrielle, 118p.

-NISSOUL Hakim, RIANE Fouad (2014) : gestion des risques dans les entreprises marocaines : vers l'élaboration d'un modèle de maturite mosim,10ème conférence francophone de modélisation, optimisation et simulation, nov2014, nancy, france. Ffha l01166631 ;

-Ouédraogo z. G.M.E., Sanon/lompo ms., Ouédraogo v., Drabo m. K. Etude des connaissances, attitudes et pratiques des menusiers sur les risques sanitaires et environnementaux lies a la menuseries dans la ville de ouagadougou au burkina faso, Revue Africaine et Malgache pour la Recherche Scientifique / Sciences de la Santé /Vol.2, N° 1, Décembre 2019 ;

-Vincent HERBERT ; Risque environnemental et action collective : l'exemple de la gestion du risque d'érosion à Wissant (Côte d'Opale), Volume 9, numéro 3, décembre 2009

VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE FACE AUX EVENEMENTS HYDRO-CLIMATIQUES DANS LA COMMUNE DE DJIDJA AU SUD DU BENIN

Jean SODJI[2], Pierre OUASSA[1], Olivier KOUDAMILORO[1], Abdel Coudouce Kpèdétin Babatoundé SALIFOU[3], Expédit Wilfrid VISSIN[1]

[1]*Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, Bénin*
[2]*Laboratoire de Géographie Rurale et d'Expertise Agricole (LaGREA), FASHS, Université d'Abomey-Calavi, Bénin*
[3]*Département de l'Eau pour l'Agriculture et la Société (DEAS), INE, Université d'Abomey-Calavi, Bénin*
J. SODJI (Enseignant-chercheur, Maître-assistant, jeansodji47@gmail.com), P. OUASSA (Doctorat PhD, ouaspeter@yahoo.fr), O. Koudamiloro (Docteur, olivierkoudamiloro@gmail.com*), E.W. VISSIN (Enseignant-chercheur, Professeur titulaire, exlaure@gmail.com)*

Résumé : Les évènements hydro-climatiques demeurent en ce temps une préoccupation majeure qui nécessite des solutions. La présente étude vise à analyser la vulnérabilité de l'agriculture face aux évènements hydro-climatiques dans la commune de Djidja. L'approche méthodologique adoptée a consisté en la collecte des données climatologiques (pluies), de débit et des rendements agricoles (maïs, manioc et arachide). Les méthodes de traitements sont essentiellement statistiques et sont rendues possibles grâce aux logiciels Excel 2013, kronostat et hyfran. L'analyse de la vulnérabilité a été réalisée grâce à la matrice de sensibilité. Après analyse de la vulnérabilité, il est retenu que les cultures les plus vulnérables sont le maïs et le riz et que les paysans ont une faible capacité d'adaptation. Il a d'ailleurs été montré que les risques climatiques majeurs sont la sécheresse (75 %) et les inondations (73 %), et que les cultures de la région ne sont pas à l'abri de leurs effets néfastes. Il s'avère donc impérieux d'orienter les dynamiques dans le sens de l'adoption de nouvelles variétés résistantes et à cycle court et à l'irrigation afin de garantir la sécurité alimentaire des ménages et de sécuriser leur revenu.
Mots clés : Djidja, évènements hydro-climatiques, vulnérabilité, adaptation.

Abstract : Vulnerability of agriculture to hydro-climatic events in the municipality of djidja in the south of Benin. Hydro-climatic events remain at this time a major concern that requires solutions. The present study aims to analyze the vulnerability of agriculture to hydro-climatic events in the municipality of Djidja. The methodological approach adopted consisted in the collection of climatological data (rains), flow and agricultural yields (maize, cassava and groundnut). The processing methods are essentially statistical and are made possible thanks to Excel 2013, kronostat and hyfran software. The vulnerability analysis was carried out thanks to the sensitivity matrix. After analyzing the vulnerability, it is concluded that the most vulnerable crops are maize and rice and that the peasants have a low capacity for adaptation. It has moreover been shown that the major climatic risks are drought (75%) and floods (73%), and that the crops of the region are not immune from their harmful effects. It is therefore imperative to orient the dynamics in the direction of the adoption of new resistant and short-cycle varieties and irrigation in order to guarantee household food security and secure their income.
Key words : Djidja, hydro-climatic events, vulnerability, adaptation.

Introduction

Les évènements hydro-climatiques sont au centre des préoccupations aussi bien des acteurs scientifiques que des décideurs politiques dû à l'incapacité de leurs contrôlent et leurs nombreux effets observés ces dernières années. La récurrence de ces évènements, depuis ces dernières années, constitue l'un des principaux facteurs qui affecte aussi bien la capacité de production des écosystèmes que la société humaine (Amoussou et *al.*, 2016 ; Kodja, 2018). L'Afrique de l'Ouest est l'une des régions du monde les plus vulnérables aux variabilités climatiques et aux extrêmes. L'impact souvent désastreux des extrêmes climatiques au cours des trente dernières années est une bonne illustration et un des signes avant-coureurs de cette vulnérabilité (Koumassi, 2014). Et quelles est la situation de votre secteur d'étude face à cette vulnérabilité de l'agriculture vis-à-vis des évènements hydro-climatiques pour qu'une telle étude lui soit consacrée.

1. Secteur d'étude

D'une superficie de 2184 km² la commune de Djidja (figure 1) située entre 7°10′ 0″ et 7° 31′ 0″ de latitude nord et entre 1° 39′ 0″ et 2° 13′ 0″ de longitude est, occupe plus de 40 % de la superficie totale

du Département Zou et contribue grâce à sa forte production vivrière à approvisionner les marchés des communes voisines, même ceux de Cotonou et du Nigéria. Néanmoins, elle fait partie des 04 zones agroécologiques du Bénin les plus exposées aux risques climatiques et enregistre des déplacements saisonniers pour diverses raisons (Noudomessi, 2019). Ces déplacements saisonniers ne sont pas sans conséquence sur l'agriculture.

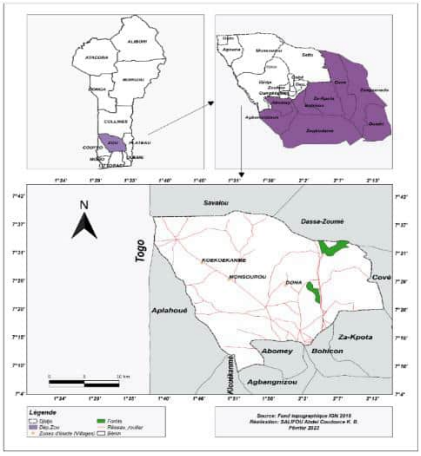


Figure 1: Situation géographique et subdivisions administratives de la commune de Djidja

2. Données et méthodes

2.1. Données utilisées

Les données utilisées sont des données pluviométriques de la station synoptique de Bohicon, les données hydrométriques de la station hydrométrique d'Atchérigbé et concerne la rivière Zou de la période 1981-2022. Les données statistiques (quantité de production et de rendement des cultures) des productions agricoles ont été utilisées également.

2.2. Méthodes utilisées

❖ Méthode d'analyse de la vulnérabilité agricole

La vulnérabilité d'un système aux variabilités hydro climatiques désigne la mesure dans laquelle un système est sensible ou incapable de faire face aux effets défavorables des variations hydro climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes (Koumassi, 2014). Pour analyser la vulnérabilité des modes et moyens d'existences, la matrice de sensibilité aux risques climatiques est utilisée. C'est une approche méthodologique plus simple qui permet d'établir la sensibilité aux risques climatiques. La mise en œuvre recouvre plusieurs étapes à savoir :

Étape 1 : elle consiste à établir la liste des unités d'exposition dans le secteur considéré qui vont être prises en compte dans l'exercice de l'analyse de la vulnérabilité. Ces secteurs ou unités d'exposition vont former les lignes de la matrice de sensibilité ;

Étape 2 : la deuxième étape consiste à établir un inventaire des risques climatiques les plus significatifs pour les secteurs ou unités d'exposition dans la région considérée.

Étape 3 : la troisième étape est celle de l'évaluation du degré de sensibilité de chaque secteur ou unité d'exposition à chacun des risques climatiques retenus.

Pour ce faire, cinq niveaux de sensibilité sont considérés. Le tableau I présente le barème d'évaluation des risques climatiques.

Tableau I : Barème d'évaluation des risques climatiques

Échelle de grandeur du degré de vulnérabilité	1	2	3	4	5
Ampleur du risque	Faible	Assez faible	Moyen	Assez fort	Fort

Le tableau II présente le barème de notation de la sensibilité des unités d'expositions face aux évènements hydroclimatiques. Ces valeurs permettent d'apprécier la sensibilité des unités d'exposition face aux évènements hydroclimatiques afin de connaître les évènements qui influencent le plus les unités d'exposition.

Tableau II: Présentation formelle d'une matrice de sensibilité

Unité d'exposition	Évènements hydro climatiques			Indice d'exposition	Classement
	Risque climatique 1	Risque climatique 2	Risque climatique 3		
Unité d'exposition 1					
Unité d'exposition 2					
Indice d'impact					

Source : Badolo 2009

L'application de la matrice produit trois indicateurs :

1. l'indice d'exposition ;
2. le rang en termes d'exposition des unités d'exposition aux risques climatiques;
3. l'indice d'impact des risques climatiques.

La valeur de l'indice d'exposition pour une unité d'exposition donnée est la somme des colonnes pour chaque ligne de la matrice. La valeur de l'indice d'impact pour un risque donné est la somme des lignes pour chaque risque (Kodja, 2013). Cet indice peut être utilisé pour établir une hiérarchisation des risques dans la localité considérée par rapport aux unités d'exposition considérées.

En effet, l'étude de la vulnérabilité a été conduite à l'aide de l'approche des matrices des risques, une méthode d'analyse de la Banque mondiale (Codjo, 2017).

3. Résultats

3.1 Effets des évènements hydroclimatiques sur le secteur de l'agriculture dans la commune de Djidja

L'agriculture est la première source de richesse au Bénin. Elle contribue pour 32,7 % en moyenne du PIB (Produit Intérieur Brute), 75 % des recettes d'exportation, 15 % aux recettes de l'Etat et fournit environ 70 % des emplois. Elle contribue aussi et surtout à assurer la sécurité alimentaire du pays.

Par ailleurs, d'une superficie de 2184 km^2, la commune de Djidja occupe plus de 40 % de la superficie totale du Département Zou et contribue grâce à sa forte production vivrière à approvisionner les marchés des communes voisines, même ceux de Cotonou et du Nigéria. Néanmoins, elle fait partie des 04 zones agroécologiques du Bénin les plus exposées aux risques climatiques et enregistre des déplacements saisonniers pour diverses raisons. Les impacts potentiels, selon les projections climatiques aux horizons temporels 2025, 2050 et 2100 concernent une baisse des rendements du maïs surtout dans la zone agroécologique V à laquelle appartient la commune de Djidja (Noudomessi, 2019).

3.1.1. Impacts des inondations sur l'agriculture dans la commune de Djidja

La survenance des inondations dans la Commune de Djidja est source de la perte des cultures. La planche 1 présente la perte de culture suite aux inondations des champs.



Planche 1 : Vue partielle d'une perte de culture suite aux inondations des champs

Prise de vues : Salifou, septembre 2022

La commune de Djidja connait 04 saisons, deux pluvieuses et deux sèches. L'irrégularité des saisons s'exprime par un démarrage des pluies tantôt tardif, tantôt précoce pour la grande saison des pluies avec des poches de sécheresse plus ou moins longues. Les arrondissements du nord-ouest de la commune de Djidja apparaissent comme des zones susceptibles d'être très fortement impactées par les pluies extrêmes en tenant compte des conditions physiques.

Selon la majorité des agriculteurs retenus pour l'enquête, la petite saison des pluies est caractérisée par de fortes pluies causant des inondations au niveau des exploitations agricoles. Ce qui entraine d'énormes pertes de cultures, qui conduit à la baisse des rendements.

3.1.2. Impacts de la sécheresse sur l'agriculture dans la commune de Djidja

Dans la zone d'étude, la sécheresse comme les inondations impactent également l'agriculture en occasionnant les pertes de productions. Cette influence de la sécheresse s'explique par le retard des pluies qui poussent les agriculteurs à cultiver tardivement leur champ. Par ailleurs, les poches de sécheresse plus ou moins longues évoquées par les agriculteurs favorisent le développement des chenilles qui détruisent l'inflorescence mâle, ce qui va impacter négativement les rendements attendus.

Cette succession d'événements au cours de la campagne agricole accroît la vulnérabilité de l'agriculture face aux évènements hydroclimatiques. La planche 2 montre les champs de maïs et de soja qui à cause du retard des pluies et des poches de sécheresse se développent faiblement. I faut annoncer la planche 2 suivante.



Planche 2 : Vue partielle d'un champ de soja (*Glycine max (L.) Merr*) et de maïs (Zea mays) dans le village Koékoékanmè en faible développement à cause du retard des pluies et des poches de sécheresse

Prise de vues : Salifou septembre 2022

3.2. Évaluation de la vulnérabilité de l'agriculture

Plusieurs facteurs expliquent la vulnérabilité de l'agriculture dans la commune de Djidja. Il s'agit du calendrier qui est rythmé par le régime pluvial, la situation géographique de certains villages. L'analyse de la vulnérabilité s'intéresse aux produits phares, qui sont : le maïs (Zea mays) ; le soja (*Glycine max (L.) Merr*) ; le riz (*Orysa sativa*); le manioc (*Manihot esculenta*) ; le coton (*Gossypium hirsutum*) et l'arachide c.). La figure 2 présente le degré de vulnérabilité du système agricole face aux évènements hydro climatiques dans la commune de Djidja.

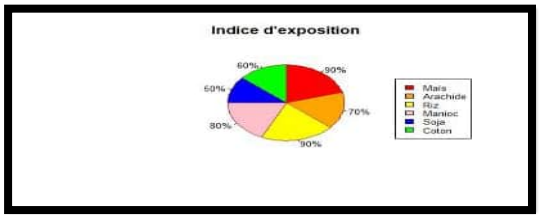


Figure 2: Diagramme de vulnérabilité du système agricole dans la commune de Djidja

Source : Résultats d'enquêtes de terrain, septembre 2022

La figure 2 présente le degré d'exposition de certaines cultures. Après analyse de la figure 2 nous constatons que toutes les cultures ont un indice d'exposition supérieure ou égal à 50 %. Ainsi, les cultures du maïs et du riz sont plus vulnérables avec un indice d'exposition de 90 % que les cultures de manioc, d'arachide et de soja. On peut donc conclure que l'agriculture du milieu d'étude est soumise aux effets néfastes des évènements hydroclimatiques. En plus de l'analyse des diagrammes de vulnérabilité du système agricole s'ajoute, l'analyse de la matrice de sensibilité (tableau III).

Tableau III: Matrice de sensibilité aux évènements hydroclimatiques.

Unité d'exposition	Évènements hydro-Climatiques		Indices d'exposition (%)	Rang
	Inondation	Sécheresse		
Maïs (Zea mays)	4	5	90	1

Arachide (*Arachis hypogaea L.)*	4	3	70	3
Riz (*Orysa sativa*)	3	6	90	1
Manioc (*Manihot esculenta*)	4	4	80	2
Coton (*Gossypium hirsutum*)	3	3	60	4
Soja (*Glycine max (L.) Merr*)	3	2	50	5
Indice d'impact	73	75		

Source du tableau à préciser ici

L'analyse du tableau III révèle que les évènements hydroclimatiques qui occupent la première et la deuxième place sont respectivement la sécheresse (indice 75%) et les inondations (indice : 73%). Le maïs et le riz sont les produits les plus vulnérables aux évènements hydro climatiques ce qui empiète sur le développement et l'émergence des paysans.

La matrice d'impacts des évènements hydro climatiques sur l'agriculture est réalisée à partir des indicateurs des changements climatiques, qui constituent des risques pour la production agricole dans la commune. En effet, le risque est caractérisé par une probabilité d'occurrence. Les termes utilisés pour définir la probabilité d'occurrence d'un risque lorsque celui-ci peut être évalué de manière probabiliste sont résumés dans le tableau IV.

Tableau IV : Terminologie des probabilités d'occurrence des risques

Risques climatiques	**Probabilité d'occurrence (%)**	**Terminologie de Probabilité**	**Couleur**
Sécheresse	96	Extrêmement probable	
Inondation	97	Extrêmement probable	

Source : Recherche documentaire et résultats d'enquêtes de terrain, septembre 2022

L'analyse du tableau IV montre que les risques climatiques majeurs affectant l'agriculture dans la commune sont l'inondation et la sècheresse avec une probabilité d'occurrence respective de 97 % et 96 %. Le tableau V, présente les impacts de la manifestation des évènements hydro climatiques sur les variables agricoles.

Tableau V: Impacts de la manifestation des changements climatiques sur les variables agricoles

Risques climatiques	**Variables**			
	Végétation	**Cultures**	**Sol**	**Disponibilité en eau**
Sécheresse	Stress hydrique des plantes accru, Accroissement des feux de végétale, mortalité du couvert végétal	Augmentation des besoins en eau, stress hydrique et thermique au niveau des cultures, et baisse sévère des rendements	Diminution de l'humidité du sol pour la croissance de plantes, augmentation de la dégradation des terres	Réduction de la quantité d'eau disponible, baisse de rendement
Inondation	Destruction du couvert végétal .	Destruction des cultures, cultures emportées, baisse de rendement.	Dégradation des sols, décapage de la partie superficielle très fertile du sol par l'eau	Pollution de l'eau de surface et souterraine, manque d'eau potable

Source : Résultats d'enquêtes de terrain, septembre 2022

Légende

Extrêmement probable	
Très probable	
Probable	

La valeur du risque (ou degré d'impact) est obtenue en croisant le niveau ou degré de sévérité de la conséquence (mineur, modéré, majeur ou sévère) à la probabilité d'occurrence du risque. Cette valeur du risque peut être faible, modérée, élevée ou extrême.

Conclusion

La présente étude a pour objectif d'analyser la vulnérabilité de l'agriculture face aux évènements hydro-climatiques dans la commune de Djidja. Au terme de cette étude, il ressort que la commune de Djidja est soumise à plusieurs évènements hydro-climatiques dont l'inondation et la sécheresse.

Les années marquées par des évènements d'inondations pluviales sont : 1981, 1987, 1988, 1998, 2005, 2009, 2010, 2014, 2016 et celles marquées par de forte sécheresse météorologique sont : 1982, 1983, 1985, 1992, 2001, 2013, 2015, 2017et 2020. La faible capacité d'adaptation des paysans de la commune rend l'agriculture à un niveau de vulnérabilité élevée. Où il est ressort que le maïs et le riz restent les produits les plus vulnérables.

Par ailleurs, la vulnérabilité face aux évènements hydro climatiques n'est pas perçue de la même manière dans les différents arrondissements de la commune. Si les inondations des champs qui constituent le risque le plus important à Monsourou et à Djidja-centre c'est plutôt la sécheresse constitue le risque le plus cité à Agouna par 70% des agriculteurs. Ce pendant les évènements hydro-climatiques ne constitue pas les seules contraintes dont faire face l'agriculture dans la commune. On peut souligner les attaques des bœufs dans les champs, l'invasion des insectes dans les récoltes… Afin de faire aux évènements hydro-climatiques les agriculteurs ont développé plusieurs moyens d'adaptations : l'utilisation des engrais chimiques et organiques ; la valorisation des bas-fonds… Quelques mesures ont été proposés pour rendre efficace les mesures d'adaptation déjà prises par les agriculteurs. Cependant la perspective d'irrigation est préconisée afin de rendre indépendant l'agriculture de la pluviométrie.

Références bibliographiques

AMOUSSOU E., TOTIN VODOUNON H., VISSIN E. W., HOUNDENOU C., MAHE G., et BOKO M., 2016 : Changements environnementaux et vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin-versant béninois du fleuve Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(5):* 2183-2201, 2016 DOI : file:///C:/Users/HP/Downloads/153804-Article%20Text-402480-1-10-20170328.pdf

CODJO T., 2017 : Aménagement hydro-agricole pour la réduction de la vulnérabilité et l'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques dans la Basse Vallée de l'Ouémé. Thèse de doctorat unique en Géographie et gestion de l'environnement, UAC, 312p.

KODJA D. J., 2018 : Indicateurs des évènements hydroclimatiques extrêmes dans le bassin versant de l'Ouémé à l'exutoire de Bonou en Afrique de l'Ouest. Géographie. Thèse de Doctorat Unique Sciences de la Terre et de l'EauUniversité de Montpellier, 288p.

KODJA D. J., 2013 : Etudes des risques hydroclimatiques dans la vallée de l'Ouémé à Bonou. Mémoire de DEA de Géographie, EDP/FLASH/UAC. 108 p.

KOUMASSI Dègla Hervé, 2014, Risques hydro-climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de Coubéri. Thèse de Doctorat Unique, EDP/FLASH, UAC, 245p.

NOUDOMESSI B., 2019 : Dynamique et modification environnementale dans un contexte de variabilité et changement climatique : Analyse sectorielle des risques pour la production agricole et la sécurité alimentaire dans la Commune de Djidja (Centre Bénin), l'Université de Liège, 263p.

ÉVOLUTION DES EVÈMENTS PLUVIOMÉTRIQUES EXTRÊMES DANS LES RÉGIONS FORESTIÈRES IVOIRIENNES DEPUIS 1981.

Serge Olivier SOHOU

Enseignant-Chercheur Indépendant, sohousergeolivier@gmail.com, Abidjan, Côte d'Ivoire.

Résumé : *L'ouest africain est depuis les années 1970, fragilisé par le changement climatique. La variation du climat y est définie par une baisse des hauteurs pluviométriques et une hausse des températures. Dans les régions du sud forestier de la Côte d'Ivoire, ces mutations sont notées à partir de la fin des années 1980. L'analyse de l'évolution des évènements pluviométriques extrêmes dans cette étude, a permis de mettre en évidence, la dynamique des indices des pluies extrêmes dans les régions forestières ivoiriennes depuis 1981. Les résultats obtenus montrent une détérioration des indices pluviométriques tels que l'intensité moyenne journalière des pluies (SDII), les périodes humides (CWD), très humides (R95p), extrêmement humides (R99p) et une intensification des périodes sèches (CDD).*

Mots-clés *: évènements pluviométriques, pluviométrie extrême, indices, Côte d'Ivoire.*

Abstract: Evolution of extreme rainfall events in ivorian forest regions since 1981. *West Africa has been weakened by climate change since the 1970s. Climate variation is defined by a drop-in rainfall levels and an increase in temperatures. In the southern forest regions of Côte d'Ivoire, these mutations were noted from the end of 1980. The analysis of the evolution of rainfall values in this study made it possible to highlight the dynamics of extreme rainfall indices. The results obtained show a deterioration in rainfall indices such as average daily rainfall intensity (SDII), wet periods (CWD), very wet (R95p), extremely wet (R99p) and an intensification of dry periods (CDD).*

Keywords*: rainfall event, extreme rainfall, indices, Ivory Coast.*

Introduction

L'Afrique subsaharienne connait depuis plus de cinq décennies des perturbations climatiques, qui impactent fortement les populations et les activités socio-économiques (Paturel *et al*., 1998 et Brou *et al.*, 2005). Dans les régions ivoiriennes, cette évolution du climat est caractérisée par la baisse des hauteurs pluviométriques et le réchauffement (N'Da *et al*, 2016 ; Sohou *et al*., 2021 ; Coulibaly *et al.*, 2021). L'objectif de cette étude est d'analyser l'évolution des valeurs pluviométriques à travers les indices des pluies extrêmes.

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les données pluviométriques aux pas de temps journaliers (du 01 janvier 1981 au 31 décembre 2022) de cette étude, proviennent de la SOciété D'EXploitation de Développement Aéroportuaire aéronautique et Météorologique de Côte d'Ivoire (SODEXAM). Quatre stations synoptiques ont été prises en compte, notamment la station d'Adiaké, de Daloa, Bondoukou et de Sassandra. Ce choix est lié à leur longue série pourvue de données et de leur répartition spatiale dans la zone d'étude (figure 1).

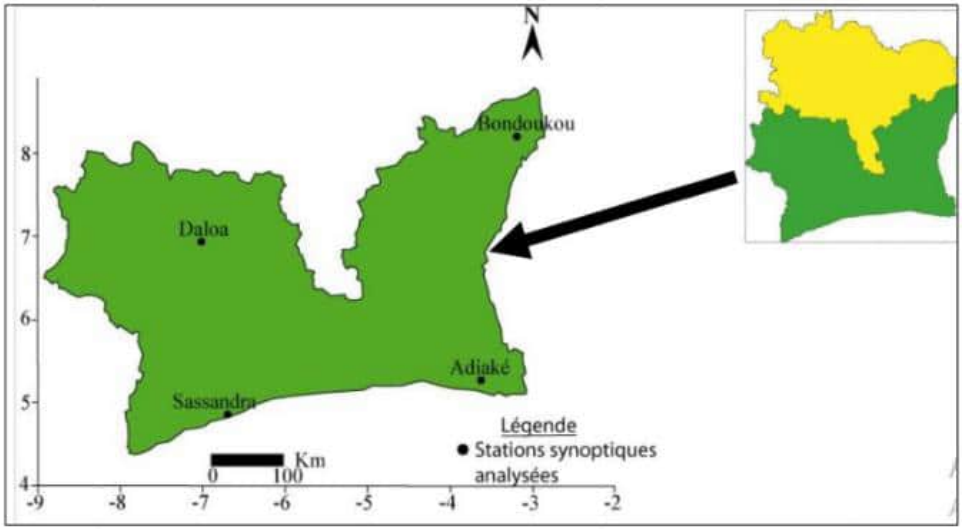


Figure 1 : La zone forestière ivoirienne et localisation des stations synoptiques retenues (source : Sohou *et al*, 2021)

1.2. Méthodes

L'approche méthodologique adoptée dans cette analyse des valeurs pluviométriques extrêmes est basée sur la méthode des Théories des Valeurs Extrêmes **(**Zhang et Yang, 2004 et Sohou *et al.*, 2020). C'est une proposition de l'Equipe d'Experts sur la Détection et les Indices des Changements Climatiques (ETCCDI). Ce programme est intégré au logiciel RClimDex. La période 1981-2022 a permis d'avoir des tendances sur quatre décennies pour toutes les stations synoptiques. Cette analyse des indices climatiques se déroule en trois phases : la première est celle du Test d'homogénéité des données, la deuxième concerne le contrôle de la qualité (QC) des données utilisées et enfin la dernière, le calcul des indices climatiques. Au total, cinq indices sont évalués pour cette étude (Tableau 1).

Tableau 1. La nomenclature des indices des extrêmes pluviométriques retenus

Indices	Nom de l'indice	Définition de l'indice	Unités
SDII	Intensité moyenne journalière de la pluviométrie	Valeur annuelle des jours consécutifs de pluie dont R>=1mm	mm/jour
CWD	Durée maximale des périodes humides	Nombre maximale des jours consécutivement humides R>=1mm	Jour
R95p	Jours humides	Cumul annuel des pluies au 95è percentile	mm
R99p	Jours extrêmement humides	Cumul annuel des pluies au 99è percentile	mm
CDD	Durée maximale des périodes sèches	Nombre maximale des jours consécutivement secs R<1mm	Jour

(Source : Zhang et Yang, 2004)

Les indices climatiques générés sont dérivés des données d'observation de la SODEXAM et de projection (https://app.climateengine.org/climateEngine). Ils sont utilisés pour analyser la variabilité pluviométrique climatique dans les régions forestières ivoiriennes.

2. Résultats

2.1. Méthodes

Les résultats de l'analyse des valeurs pluviométriques extrêmes aux stations synoptiques d'Adiaké, Bondoukou, Daloa et Sassandra, présentent deux tendances opposées entre 1981 et 2022. A savoir, une dégradation des indices des périodes humides et une croissance des indices des périodes sèches (figures 2).

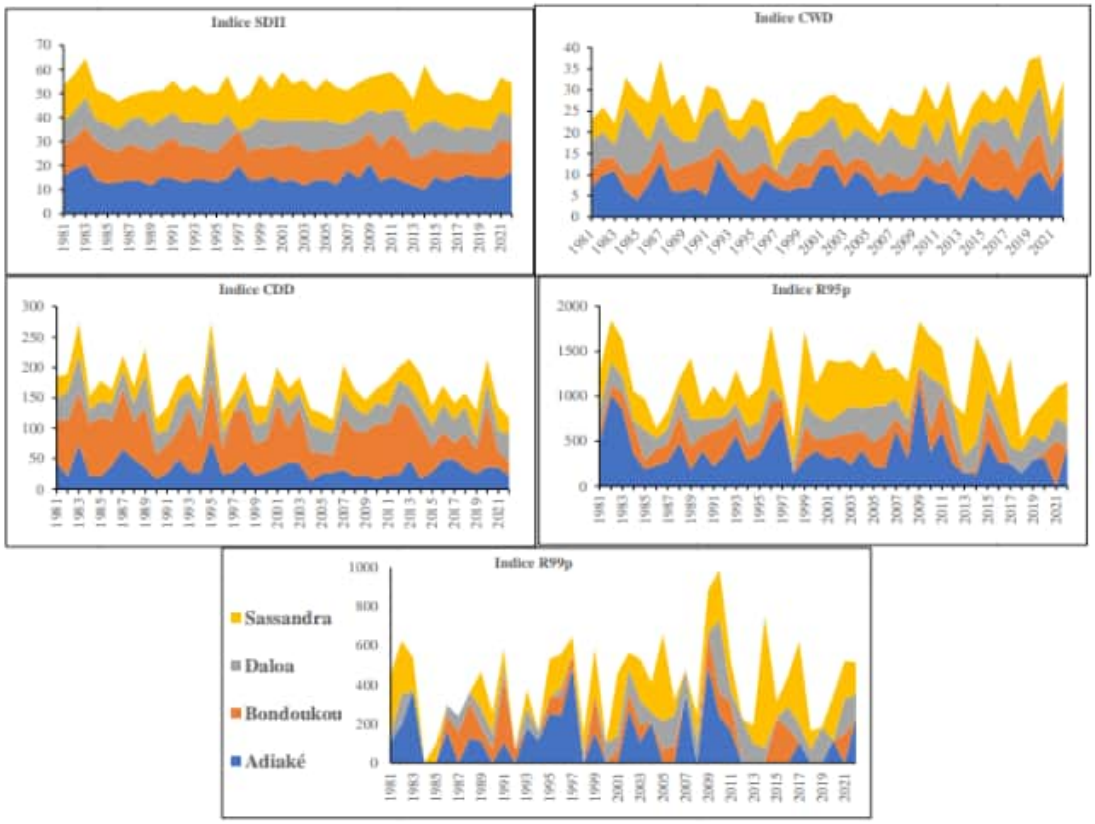


Figure 2. Évolution des indices des SDII, CWD, CDD, R95 et R99p dans les régions forestières d'Adiaké, Bondoukou, Daloa et Sassandra entre 1961 et 2022. (Source : SODEXAM, 2022)

Les indices de l'intensité moyenne journalière des pluies (SDII), des périodes humides (CWD), très humides (R95p) et extrêmement humides (R99p) sont en baisse à l'échelle de toutes les stations. Cette baisse est toutefois plus accentuée à Adiaké et Bondoukou. Contrairement à ces indices, celui des périodes sèches (CDD) augmente progressivement de 1981 à 2022, avec une croissance plus significative à Adiaké, Bondoukou et Daloa.

Conclusion

Le principal facteur caractérisant la variation du climat ou d'une saison climatique en Afrique occidentale est la pluviométrie. En effet, la baisse de cette pluviométrie, à travers les valeurs extrêmes est une évidence pour tous les acteurs du monde agricole. En Côte d'Ivoire, dans les régions forestières une dégradation importante de ces valeurs pluviométriques est observée. On y note une baisse des périodes humides (CWD), très humides (R95p) et extrêmement humides (R99p), de l'intensité moyenne journalière des pluies (SDII), pendant que les périodes sèches (CDD) accroissent sur cette même période. Cette diminution des périodes humides et la croissance des périodes sèches met en évidence la vulnérabilité face à la variabilité climatique de ces régions ivoiriennes, leurs populations, ainsi que les différentes activités agricoles qui s'y pratiquent.

Bibliographie

Brou Y. T., Akindès F. et Bigot S., 2005 : La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles, *Cahiers Agricultures, Agence Universitaire de la Francophonie* (AUF), **14**, 533-540.

Coulibaly K. A., Dibi-Anoh P. A., Koli Bi Z. et Djè K. B., 2021 : *Modifications des paramètres agroclimatiques majeurs des calendriers agricoles en Côte d'Ivoire entre 1951 et 2017, Generis Publishing*, **1**, 366-387.

N'Da K. C., Dibi Kangah P., Djibril D. N., Kouakou B. D. et Zuéli K. B., 2016 : Changement climatique : quelques aspects de la variabilité climatique dans le bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire, *RSS-PASRESS*, **10**, 56-104.

Paturel J. E., Servat E., Delattre M.O. et Lubes-Niel H., 1998 : Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique, *Hydrological Sciences Journal*, **43**, 937-946.

Sohou S.O., N'Da K.C. et Dibi Kangah A.P., 2020 : Le réchauffement climatique à travers les indices de températures extrêmes dans le sud forestier ivoirien entre 1961 et 2014, *RegardSuds*, **1**, 61-75.

Sohou S. O., N'Da K. C. et Dibi Kangah A. P., 2021 : Impacts climatiques et stratégies d'adaptation paysannes dans les zones forestières ivoiriennes depuis 1961. *Géovision* Mieux comprendre l'espace, **2**, 442-458.

Zhang X. et Yang F., 2004, RClimDex1.0 : *User Manual*. *Climate Research Branch Environment*, *Downsview*, Ontario, Canada, 23 p.

VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET OCCURRENCES D'INONDATIONS À EPÉNA (CONGO-BRAZZAVILLE)

Ghislain TOLI[1], Joëlle Claude ZOU-MASSENGO[2] et Gaston SAMBA[3]

[123]*Centre de Recherches et d'Études sur l'Environnement – CR2E , École normale supérieure, Université Marien Ngouabi, BP 3162 Brazzaville, site www.cr2e.cg, République du Congo, Correspondant : tolighislain@gmail.com*

Résumé : *La présente étude analyse la variabilité pluviométrique de 1980 à 2022 à Epéna et son incidence sur le rythme des inondations observé entre octobre et novembre 2022. Les données utilisées sont issues des réanalyses ERA5 constituées des données des précipitations journalières sur une période allant du 01 janvier 1980 au 31 décembre 2022. À cela s'ajoute les séquences d'images terrain. Le traitement des données est basé sur la statistique descriptive et le test de Pettitt. Les résultats obtenus à travers le test de Pettitt laissent entrevoir une période de changement dans la distribution des précipitations annuelles à Epéna entre 1980 et 2022. Les résultats ont également montré que les cumuls des précipitations journalières enregistrés entre octobre et novembre 2022 à Epéna sont responsables des inondations observées le 20 octobre 2022 ainsi que le 02 et le 29 novembre 2022.*

Mots-clés : *variabilité pluviométrique, occurrence, inondation, Epéna.*

Abstract: *This study analyzes rainfall variability from 1980 to 2022 at Epéna and its impact on the flooding rhythm observed between October and November 2022. The data used come from ERA5 reanalyses, consisting of daily rainfall data for the period January 01, 1980 to December 31, 2022. Field image sequences are also used. Data processing is based on descriptive statistics and the Pettitt test. The results of the Pettitt test suggest a period of change in the distribution of annual rainfall at Epéna between 1980 and 2022. The results also showed that the daily rainfall totals recorded between October and November 2022 in Epéna were responsible for the floods observed on October 20, 2022 and on November 02 and 29, 2022.*

Keywords: *rainfall variability, occurrence, floods, Epéna*.

Introduction

La ville d'Epéna est située dans le département de la Likouala (dans la partie septentrionale du territoire congolais), entre les longitudes 17°26'31" et 17°27'49" E et les latitudes 1°21' et 1°21'50" N (Fig.1). Cette ville fait partie des marges occidentales du Bassin du Congo, qui depuis quelques décennies subit les effets des changements climatiques (S. Bigot et al., 1998 ; P. Camberlin et *al*., 2019 ; M. Mpounza et J.M. Samba-Kimbata (1990) ; G. Samba et M. Mpounza (2005) ; G. Samba et D. Nganga 2012 ; G. Samba, 2020). La présente étude s'inscrit dans un contexte national et international marqué par les changements climatiques. Les précipitations journalières, dans cette partie du pays, sont souvent responsables des inondations récurrentes. L'analyse des précipitations journalières montre que les pluies qui surviennent au nord-Congo présentent des valeurs pluviométriques assez élevées. Au cours d'une journée de pluie, on peut enregistrer entre 20 et 30 mm d'eau (G. Toli, 2020, p12). La recrudescence des phénomènes d'inondations observée dans cette région pousse à s'interroger sur le rythme récent de ces phénomènes au niveau de la ville d'Epéna. Cette étude analyse la variabilité pluviométrique de 1980 à 2022 et son incidence sur le rythme des inondations observé à Epéna entre octobre et novembre 2022.



Figure 3. Image satellite (du 22 janvier 2023) de la ville d'Epéna avec point de mesure ERA5 (source : Google Earth, image CNES/Airbus 2023).

1. Données et méthodes

1.1. Données

Nous avons utilisé les données issues des réanalyses ERA5 sur une résolution spatiale de 0.25°x 0.25°. Les fichiers extraits portent essentiellement sur les données des précipitations journalières allant du 01 janvier 1980 au 31 décembre 2022 pour la ville d'Epéna. À cela s'ajoute les séquences d'images terrain illustrant les occurrences d'inondations observées dans la ville d'Epéna entre octobre et novembre 2022.

1.2. Méthodes

Les manipulations pour le traitement des données ont été faites sous les logiciels Xlstat 2014 et Excel 2016. Les différentes méthodes utilisées sont les suivantes :

- ***La moyenne arithmétique simple*** a permis de représenter le régime pluviométrique et les valeurs moyennées des précipitations survenues au cours de chaque saison. Cette méthode est définie de la manière suivante :

$$\overline{\boldsymbol{X}} = \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{N}} \sum_{\boldsymbol{i=0}}^{\boldsymbol{n}} \mathbf{X}\boldsymbol{i}$$

Où : *Xi*, variable de la série ; *n*, effectif de la variable ; ***N***, effectif total

- ***Le coefficient de variation*** a permis de mesurer l'homogénéité (ou variation) des données de la série pluviométrique. Elle est donnée à partir de la formule suivante :

$$\frac{\boldsymbol{\sigma}}{\overline{\boldsymbol{X}}} \text{ x } \mathbf{100}$$

Où : **σ**, écart-type ; $\overline{\boldsymbol{X}}$, moyenne.

- ***Les anomalies centrées réduites*** ont été utilisées pour apprécier l'évolution des précipitations à travers les indices pluviométriques. Cette méthode est définie de la manière suivante :

$$\mathbf{ACR} = \frac{(\mathbf{X}\boldsymbol{i} - \overline{\boldsymbol{X}})}{\boldsymbol{\sigma}}$$

Où : ACR **:** *Anomalies Centrées Réduites* ; X_i : *variable de la série ;* σ : *écart-type* ; $\bar{X}$: *moyenne.*

- ***Le test de Pettitt*** a été utilisé pour mettre en évidence les éventuelles ruptures au sein des séries chronologiques des précipitations. Sa mise en œuvre suppose que pour tout instant t compris entre 1 et N, les séries chronologiques *(Xi) i=1 à t et t+1* à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t,N}$ définie par :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^{t} \sum_{J=t+1}^{N} Dij$$

Où : *Dij = sgn(Xi –Xj)* et sachant que :

sgn(X) = 1 si X>0 ;

sgn(X) = 0 si X = 0 ;

sgn(X) = -1 si X <0.

2. Résultats et discussion

2.1. Variabilité pluviométrique

2.1.1. Régime pluviométrique

La figure 2 atteste que les précipitations qui surviennent à Epéna ont un régime de type bimodal (typique des zones à climat équatorial) avec une alternance des périodes sèches et humides. La première période sèche est celle qui va de décembre à février. Au cours de cette période, les précipitations mensuelles atteignent difficilement 100 mm d'eau. Elle est suivie par la première période humide qui est représentée par les mois de mars, d'avril et de mai. Ici, on enregistre des valeurs pluviométriques supérieures à 150 mm. La seconde période sèche intervient entre juin et août. Les précipitations mensuelles, ici, peuvent dépasser les 100 mm d'eau. Et la seconde période humide, quant à elle, commence de septembre à novembre. Elle enregistre des valeurs pluviométriques plus importantes.

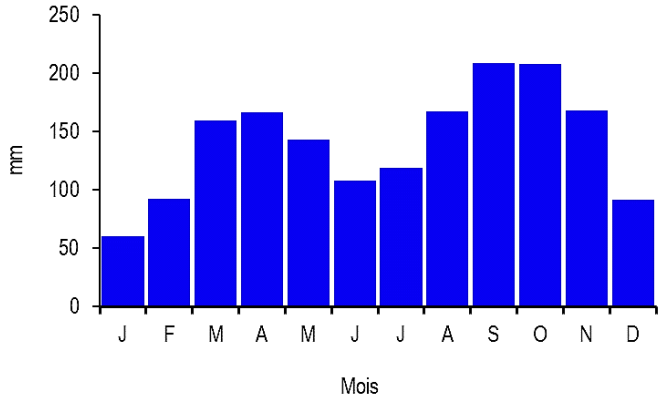


Figure 4. Régime pluviométrique à Epéna.

2.1.2. Variabilité relative des précipitations annuelles

La figure 3 présente la variabilité des précipitations annuelles à Epéna de 1980 à 2022. Les variations sont assez faibles avec un coefficient de variation se situant à 16%. Cependant, les indices pluviométriques et la moyenne mobile sur 2 ans annoncent une évolution à la baisse des précipitations annuelles qui a commencé depuis le début des années 2000. Les données de

simulations ERA5 présentent l'année 1988 comme l'année la plus humide (avec 2265 mm d'eau) et l'année 2018 est celle ayant enregistré moins de totaux pluviométriques (avec 1298 mm d'eau). Ces données, testées au test de rupture de Pettitt, attestent une période de rupture dans la distribution des séries pluviométriques annuelles à Epéna. L'année 1999 est l'année qui marque le début de la rupture dans la distribution des séries pluviométriques annuelles. On note un écart considérable entre la moyenne avant-rupture (1934 mm) et la moyenne après-rupture (1477 mm). En effet, ces analyses rejoignent les résultats obtenus par M. Mpounza et J-M Samba-Kimbata (1990), S. Bigot, P. Camberlin, V. Moron et *al*., (1997), P. Camberlin, G. Beltrando, B. Fontaine et *al.*, (2002), P. Camberlin (2007), G. Samba and D. Nganga (2012), G. Samba (2020) et par G. Toli et G. Samba (2022) annonçant la baisse significative des précipitations depuis la décennie 1980 dans la partie nord du territoire congolais.

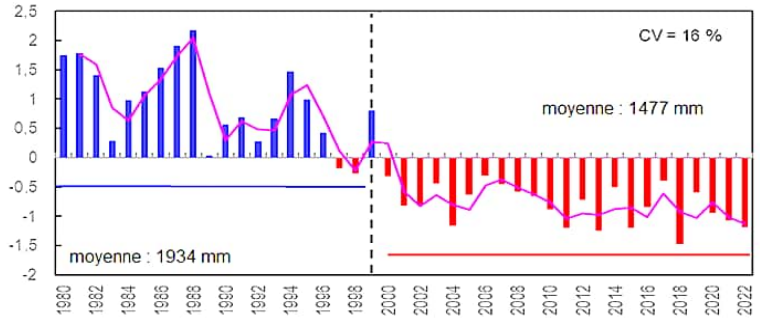


Figure 5. Variabilité et rupture des précipitations annuelles à Epéna entre 1980 et 2022**.**

2.2. Rythme des précipitations journalières et inondations

2.2.1. Rythme annuel moyen des précipitations journalières

On note de fortes fluctuations au niveau de la distribution des valeurs moyennes annuelles des précipitations journalières à Epéna (Fig.4). Au cours de l'année civile avec les 365 jours, on constate qu'à Epéna, les pluies journalières sont plus fréquentes entre le 69^{e} et le 128^{e} jour (pour le premier cycle) et entre le 218^{e} et le 336^{e} jour (pour le second cycle). Les précipitations journalières qui surviennent lors du second cycle des jours sont susceptibles d'apporter des vagues d'inondations dans la ville d'Epéna.

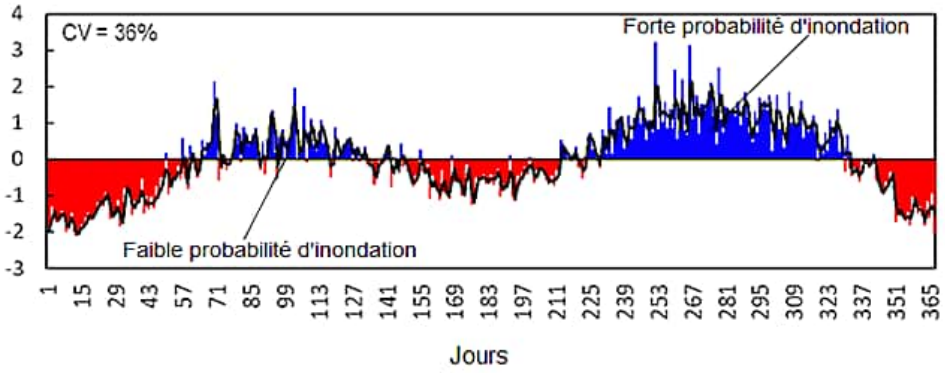


Figure 6. Rythme moyen annuel des précipitations journalières à Epéna entre 1980 et 2022.

2.2.2. Occurrences d'inondations à Epéna entre octobre et novembre 2022

Les inondations dans la zone d'Epéna et ses marges se sont accentuées avec le rythme actuel des changements climatiques. En effet, sur la période d'octobre-novembre 2022, nous avons enregistré des précipitations journalières que l'on peut considérer comme des pluies à cumul élevé (à l'échelle locale). Ces précipitations exceptionnelles sont enregistrées lors des occurrences d'inondations. Sur la période octobre-novembre 2022, les données ERA5 ont

identifié des cumuls de pluies journalières dépassant les 15 mm/jour. Les pluies diurnes survenues au cours du mois d'octobre ont présenté des valeurs qui oscillent entre 0 et 28,6183 mm d'eau (Fig.5a) avec un pic enregistré le 20 octobre 2022. Toutefois, au cours du mois de novembre, on enregistre des valeurs allant de 0,24 à 17,3045 mm d'eau (Fig.5b). Les cumuls pluviométriques élevés au cours de ce mois de novembre ont été enregistrés le 02 novembre 2022 (pour 16,1913 mm d'eau) et le 29 novembre 2022 (pour 17,3045 mm d'eau).

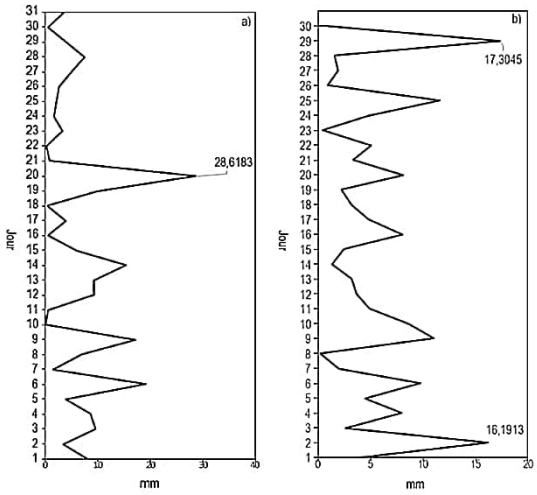


Figure 7. Cumuls des précipitations journalières à Epéna entre octobre (a) et novembre (b) 2022.

Les cumuls des précipitations journalières (considérés comme élevés à l'échelle locale) enregistrés en octobre et en novembre 2022 sont responsables des inondations observées dans la ville d'Epéna le 20 octobre 2022 (Fig.6a et Fig.6b), et le 02 et le 29 novembre 2022 (Fig.6c, Fig.6d et Fig.6e).



Figure 8. Inondations observées à Epéna entre octobre et novembre 2022.

Conclusion

La présente étude a analysé la variabilité pluviométrique de 1980 à 2022 et son incidence sur le rythme des inondations observé à Epéna entre octobre et novembre 2022. Il ressort que la modulation observée au niveau des précipitations journalières, associée aux faibles niveaux topographiques de ladite zone (basses altitudes inferieures à 325 mm) sont responsables d'une grande partie des phénomènes d'inondations fréquentes observés à Epéna. Car, les pluies qui surviennent entre le 218^{e} et le 336^{e} jour de l'année sont susceptibles d'apporter des vagues d'inondations dans la ville d'Epéna. Cette étude pose les jalons des travaux devront aboutir à l'analyse des extrêmes climatiques et leurs périodes de retour afin d'évaluer et/ou de prévenir sur les éventuels risques d'inondations dans les zones vulnérables au Congo-Brazzaville.

Remerciement :

Les auteurs remercient le *Centre de Recherches et d'Études sur l'Environnement* pour le financement apporté dans la réalisation de cette étude. Merci également au Dr Akibou A. AKINDELE pour son apport scientifique.

Bibliographie

Amoussou E., 2010 : Variabilité pluviométrique et dynamique Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire sédimentaire du bassin du bassin du bassin-versant versant du complexe du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest), Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France, 313 pages.

Bigot S., Camberlin P., Moron V. et Richard Y., 1997 : Structures spatiales de la variabilité des précipitations en Afrique : une transition climatique à la fin des années 1960 ?, Géophysique externe climat et environnement C.R. Acad. Sci. Paris, t. 324, série IIa, 181-188.

Bigot S., Moron V., Melice J-L., Servat E. et Paturel J-E., 1998 : Fluctuations pluviométriques et analyse fréquentielle de la pluviosité en Afrique Centrale, Century Proceedings Of The Abidjan'98 Conference Held At Abidjan, Côte D'ivoire, 71-78.

Camberlin P., Beltrando G., Fontaine B. et Richard Y., 2002 : Pluviométrie et crises climatiques en Afrique Tropicale : changements durables ou fluctuations interannuelles ? *Historiens& Géographes* n°**379**, 263-273.

Camberlin P., Barraud G., Bigot S., Dewitte O., Makanzu-Imwangana F., Maki-Mateso J-C., Martiny N., Monsieurs E., Moron V., Pellarin T., Philippon N., Muhindo S. and Samba G., 2019 : Evaluation of remotely sensed rainfall products over Central Africa. *QJRMeteorolSoc*, 1–24. https://doi.org/10.1002/qj.3547

Mpounza M et Samba-Kimbata M-J., 1990 : Aperçu sur le climat de l'Afrique centrale occidentale In : LANFRANCHI RAYMOND (ED.), SCHWARTZ DOMINIQUE (ED.). *Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique*. Paris : ORSTOM, 31-41. (Didactiques). ISBN 2-7099-1022-5. ISSN 1142-2580.

Nganga D and Samba G., 2011: Atmospheric dynamic and raining mechanisms in the Congo Basin, *Journal of Environmental Sciences*, **5** (12), 850-866, ISSN 1819-3412. https://doi:10.3923/rjes.2011.850.866

Samba G. et MPOUNZA M., 2005 : Application du processus de Markov sur les occurrences des précipitations journalières au Congo-Brazzaville, *Compte Rendu Géoscience*, **337**, 1355–1364. https://doi:10.1016/j.crte.2005.07.010

Samba G. and Nganga D., 2012: Rainfall variability in Congo-Brazzaville*:* 1932–2007, *Int. J. Climatol*. **32**, 854–873. https://doi:10.1002/joc.2311

Samba G., 2020 : Le climat du Congo-Brazzaville, L'Harmattan, 281pages.

Toli G., 2020 *:* Évolution récente des précipitations diurnes à cumul élevé au nord-Congo (Congo-Brazzaville), *HAL-CNRS (revue en ligne)*, hal-02872897, 15pages. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02872897

Toli G. et Samba G., 2022 : Tendances et ruptures des précipitations sur la partie congolaise du Bassin du CONGO, *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, Vol.1, N°**60**, 181-197 https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/EGDM/32318

COMPLEXITÉ DU PHÉNOMÈNE D'INONDATION DANS LA PLAINE CÔTIÈRE DE LA VILLE DE COTONOU

Fakorédé Ephrem TOSSOU[1], C Claude ODJIA[2], Sebastian WEISSENBERGER[3]

[1]*Institut des Sciences Environnementales. Université du Québec A Montréal, Canada : ISE/UQAM, cd291902@ens.uqam.ca, +15144307806; +2290196527070*

[2]*Département de géographie. Université du Québec A Montréal, UQAM, Canada codjia.claude@uqam.ca, +1514987300 poste 0867*

[3]*Département science et technologie, Université Téluq, Montréal/Québec, Québec, Canada, sebastian.weissenberger@teluq.ca, +1 418 652747 poste 5374*

Résumé : *L'étude examine les inondations à Cotonou en lien avec le climat, l'environnement et l'urbanisation. La ville, naturellement exposée aux inondations, subit une aggravation due au changement climatique et à l'expansion urbaine. La forte pluviométrie annuelle de 1290 mm provoque des inondations modérées, avec une extension des zones touchées de 223 ha en 2015, 701 ha en 2019 et 733 ha en 2022 et 2022 et leur hauteur moyenne respective de 0,19 m, 0,24 m et 0,26 m. La densité de population atteindra 17 649 hab./km² en 2025, tandis que l'urbanisation a réduit les espaces naturels et agricoles de 723 ha entre 2002 et 2022. Ces évolutions accroissent la vulnérabilité des habitants et nécessitent une meilleure planification urbaine.*

Mots clés: *Cartographie des inondations, variabilité climatique, urbanisation, Cotonou*

Abstract: Complexity of the flood phenomenon in the coastal plain of Cotonou city. *The study examines flooding in Cotonou in relation to climate, environment, and urbanization. Naturally prone to flooding, the city faces worsening conditions due to climate change and urban expansion. The high annual rainfall of 1,290 mm causes moderate flooding, with affected areas expanding from 223 hectares in 2015 to 701 hectares in 2019 and 733 hectares in 2022. The corresponding average flood depths were 0.19 m, 0.24 m, and 0.26 m. By 2025, the population density is expected to reach 17,649 inhabitants per square kilometer, while urbanization has reduced natural and agricultural spaces by 723 hectares between 2002 and 2022. These changes increase residents' vulnerability and call for improved urban planning.*

Keywords: *Flood mapping, climate variability, urbanization, Cotonou*

Introduction

Le monde connaît une perturbation des principaux paramètres climatiques qui se traduit notamment par un réchauffement global de la planète terre, donnant naissance à plusieurs phénomènes hydrométéorologiques extrêmes dont les inondations (GIEC, 2018). La plaine côtière de la ville de Cotonou au Bénin, est fortement exposée aux inondations exacerbées par les aménagements humains, la variabilité pluviométrique et ses facteurs biophysiques fondamentaux. Cette recherche vise à montrer la complexité de ce phénomène, en considérant les facteurs hydrométéorologiques, environnementaux et urbains, afin de mieux comprendre les causes, les mécanismes et les interactions des inondations dans cette ville en pleine croissance.

1.Présentation du territoire d'étude

Cotonou, capitale économique du Bénin, est une ville côtière située sur un cordon littoral entre l'océan Atlantique et le lac Nokoué. Couvrant une superficie de 79 km², elle s'étend entre 6°20' et 6°24' de latitude Nord et 2°20' et 2°29' de longitude Est (figure 3). La ville est caractérisée par un relief plat, avec une altitude maximale d'environ 6 mètres, et est composée de 35% de zones marécageuses et 65% de zones urbanisées (Capo, 2008). Cotonou est la seule commune du département du Littoral et l'une des quatre communes à statut particulier du Bénin (INStaD, 2013).

2.Données

L'étude sur les inondations à Cotonou s'appuie sur une analyse multidimensionnelle combinant des données climatiques de pluviométrie de 1970 à 2023, d'hydrologie de 1986 à 2021, des images satellites Landsat et Sentinel-1, des cartes topographiques et des modèles numériques de terrain. Elle intègre également des données socio-économiques issues des recensements et des enquêtes de terrain menées auprès de 175 ménages, 11 groupes de discussion et 14 entretiens dans trois zones à risque croissant (Z1, Z2, Z3).

3.Méthode et matériels

Cette étude sur les inondations à Cotonou, est basée sur des données hydrométéorologiques de 1970 à 2023. Après un contrôle qualité et des tests de stationnarité, les analyses ont été menées avec Python, Excel et Word pour étudier le régime pluviométrique mensuel et la variabilité interannuelle .0/des débits et les hauteurs d'eau. Le risque d'inondation est évalué selon l'équation du UNDRO : Risque = Aléa × Vulnérabilité des enjeux exposés. Des images Landsat de 2002, 2022) ont été traitées sous Envie et ArcGIS Pro pour identifier les changements d'occupation du sol. Les images Sentinel-1 (2015, 2019, 2022) ont permis de cartographier les zones temporairement inondées via classification non supervisée, après prétraitements géométriques et radiométriques. La hauteur d'eau a été estimée en combinant ces images avec un modèle numérique de terrain. Enfin, des données issues d'enquêtes (Google Forms) ont été analysées à l'aide de SPSS, pour enrichir l'étude des perceptions et impacts sociaux.

4. Résultats

4.1 Facteurs de prédisposition de la plaine côtière de Cotonou aux inondations

Cotonou est prédisposée aux inondations par sa topographie basse et plate, la zone bâtie de Cotonou est plate avec des côtes topographiques estimées approximativement entre 3,0 et 4,4 m (Lavalin, 1998), son sol très imperméable, ses nombreuses zones marécageuses, sa forte pluviométrie de 1290 mm et sa dépendance hydrologique aux cours d'eau environnants, malgré l'absence de cours d'eau sur son propre territoire. Ces facteurs sont les causes structurelles des inondations à Cotonou.

4.2 Facteurs amplificateurs des inondations dans la plaine côtière de Cotonou

4.2.1. Étude de la variabilité climatique

- ✓ ***Régime pluviométrique de Cotonou***

L'analyse de la figure 1 montre que Cotonou a un climat bimodal : deux saisons pluvieuses (mi-mars à mi-juillet, mi-septembre à mi-novembre) et deux saisons sèches. Mai, juin, septembre et octobre sont les mois les plus pluvieux, tandis que décembre et janvier sont les plus secs. Les mois de mai, de juin, de septembre et d'octobre avec une pluie moyenne mensuelle de 329,42 mm sur la période avec une concentration de 79% de pluie au courant de mai et juin.

- ✓ ***Variabilité pluviométrique***

L'analyse de la figure 2 a permis de distinguer quatre périodes climatiques à Cotonou entre 1970 et 2023. Les périodes 1970-1986 et 1998-2009 sont marquées par des anomalies négatives, correspondant à des années sèches. La période 1987-1997 est dominée par des anomalies positives, indiquant des années humides. Entre 2010 et 2023, on observe une alternance d'années sèches et humides, signalant une reprise des hauteurs pluviométriques.

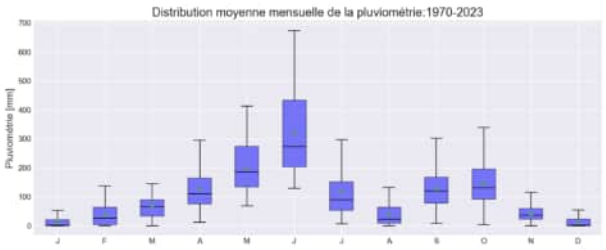


Figure 1 : Régime pluviométrique

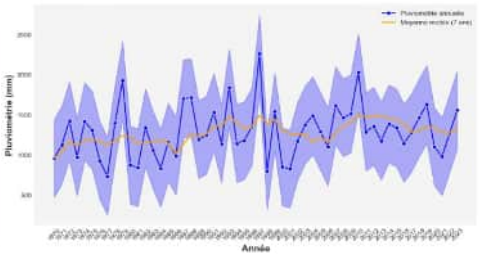


Figure 2 : Variabilité interannuelle des pluies

Globalement, l'excédent d'eau favorise l'humidité du sol et, lors de fortes pluies, provoque des inondations pluviales à Cotonou, surtout en mai et juin.

✓ ***Cartographie des inondations et estimation de leurs hauteurs moyennes en 2015, 2019 et 2022***



Figure 3 : Carte de Cotonou et la zone inondée en 2022

La superficie et la hauteur des inondations varient selon les années. L'année 2019 a connu une inondation critique, tandis que 2015 et 2022 ont connu des inondations significatives. Les superficies inondées étaient de 223 ha, en 2015, 701 ha en 2019 et 733 ha en 2022 et *leur 2022 et 2022* et leur hauteur moyenne respective de 0,19 m, 0,24 m et 0,26 m

4.2.2 Facteurs anthropiques

✓ **Dynamique démographique de 1979 à 2025**

Depuis le premier Recensement général de la population et de l'habitat de 1979 (RGPH) du Bénin, la population de la ville de Cotonou a une évolution démographique assez considérable (figure 4).

La population de Cotonou en 2013, de 678.874 habitants a augmenté mais son taux de croissance ralenti, passe à 0,18% cette même année. La densité de population déjà très élevée de 8595 habitants/km², devrait doubler en 2025 passant à 17649 habitants/ km² selon les projections démographiques (INStaD, 2013).

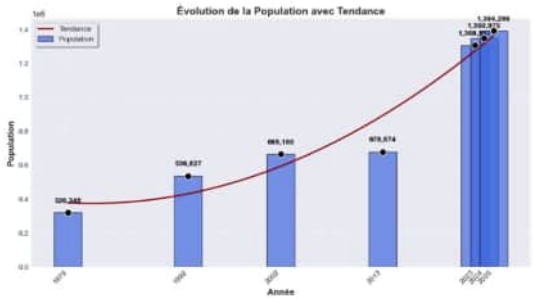


Figure 4. Dynamique de la population de Cotonou 1979 à 2025

Cette forte croissance démographique exerce une pression importante sur l'occupation du sol de la ville de Cotonou.

✓ **Dynamique de l'occupation du sol de Cotonou de 2002, 2012 et 2022**

Les unités d'occupation du sol, qui sont du ressort de l'environnement naturel voir leurs superficies réduire. Les plantations forestières sont réduites de 42.02% puis de 40.58%, les formations marécageuses perdent 46.18% de leur surface initiale (2002-2012), puis se reconstituent partiellement de -5.37% (2012-2022), le plan d'eau passe d'une réduction de 10.24% à une augmentation de 11.4%, la plage enregistre des pertes similaires (-28.71% puis -40.27%), les cultures et jachères, et cultures et jachères sous palmiers semblent être en voie de disparition sur 723 ha sur 2002-2022 (Tableau I).

Tableau I : Superficies des unités d'occupation du sol

Classes d'occupation du sol	2002-2012 (ha)	2002-2012(%)	2012-2022 (ha)	2012-2022 (%)
Cultures et jachères	-29	-38.16%	-14	-29.79%
Cultures	-5	-50.00%	-2	-40.00%
Marécageuse	-447	-46.18%	-28	-5.37%
Agglomération	+626	+10.12%	+98	+1.44%
Plan d'eau	-34	-10.24%	+34	+11.41%
Plantation forestière	-50	-42.02%	-28	-40.58%
Plage	-60	-28.71%	-60	-40.27%

Ainsi de ce tableau I, l'occupation du sol à Cotonou, caractérisée par divers types d'unités telles que l'agglomération, les cultures, les marécages et autres, est complexe et évolue rapidement. L'analyse diachronique des différentes périodes de 2002 à 2022 montre une réduction des espaces naturels et agricoles au profit de l'habitat, témoignant d'une forte urbanisation par suite des différents changements dans le temps.

4.3 Complexité des inondations dans la ville de Cotonou

4.3.1 Mécanisme des inondations

Deux types d'inondations sont distinguées à Cotonou, les inondations pluviales sont causées par de fortes pluies sur un sol plat et imperméable. L'urbanisation et les déchets bloquent les systèmes de drainage, empêchant l'écoulement normal de l'eau. Cela provoque la stagnation et des inondations récurrentes chaque année.

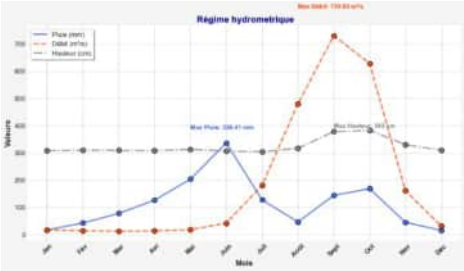


Figure 5. Régime hydrométéorologique pendant les graves inondations

La figure 5 illustre que le fleuve Ouémé atteint son débit maximal en octobre, pendant la grande saison des pluies au nord, au centre du Bénin d'où il prend sa source. L'eau descend vers le sud, faisant monter le niveau du fleuve. En octobre, le lac Nokoué atteint aussi son pic, combinant les eaux du fleuve et les pluies locales. Cette accumulation provoque le débordement du lac. Les inondations résultantes affectent les zones basses de Cotonou et ses écosystèmes.

4.3.1 Système d'interactions complexes des inondations à Cotonou

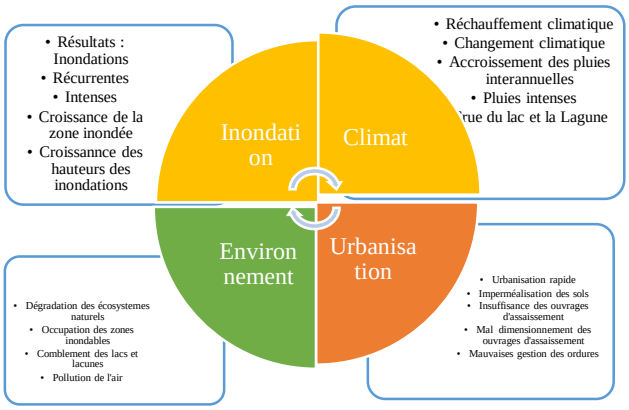


Figure 6. Système d'interactions complexes des inondations à Cotonou

Les inondations à Cotonou résultent de l'interaction complexe entre le climat, l'urbanisation et l'environnement. Le climat, en générant des phénomènes extrêmes le réchauffement et les pluies intenses, déclenche les inondations. L'urbanisation rapide aggrave la situation en imperméabilisant les sols et en étendant les habitations vers des zones inondables. La dégradation de l'environnement, notamment des écosystèmes et des zones marécageuses, réduit la résilience du milieu et des habitants face aux pluies intenses. (Figure 6)

5.Discussion

Cotonou est naturellement sujette aux inondations en raison de sa localisation dans la plaine côtière, l'une des zones les plus arrosées du Bénin (Gbaguidi, 2011). De plus, ses caractéristiques biophysiques en font un environnement structurellement favorable à ce phénomène. Les inondations à Cotonou sont aggravées par les extrêmes climatiques et l'urbanisation croissante, qui amplifient les effets des fortes pluies. De 1970 à 2023, la pluviométrie annuelle moyenne de 1290 mm, concentrée à 79 % sur mai et juin, combinée à l'état défectueux des caniveaux, favorise les inondations (figure 7)



Figure 7 : Incivisme et canaux bouchés par les déchets à Cotonou

D'autre part, les inondations à Cotonou sont liées à un ensemble complexe de facteurs, notamment les conditions hydrométéorologiques du bassin versant du lac Nokoué et les aménagements urbains. Entre 2002 et 2022, la ville a connu une forte croissance démographique due à l'afflux migratoire, entraînant la perte de 723 hectares d'espaces naturels et agricoles. Cette urbanisation rapide et de 50% d'ici 2030, (INStaD, 2013) a réduit la capacité naturelle d'absorption des eaux, aggravant les risques d'inondation. Tandis que les habitants pointent la variabilité des pluies comme cause principale, les autorités municipales estiment que les activités humaines sont les facteurs dominants.

Conclusion

Les inondations à Cotonou ne sont pas le fruit d'un événement isolé, mais le résultat d'un système d'interactions complexes en boucle, entre des causes structurelles historiques et des causes amplificatrices et aggravantes récentes, tels que le changement climatique et

l'urbanisation identifiées avec leurs caractéristiques. Il urge d'évaluer les facteurs de vulnérabilité des populations face aux inondations pour proposer des mesures d'adaptation.

Bibliographie

Banque Mondiale, 2011 : L'adaptation au changement climatique et la résilience aux désastres naturels dans les villes côtières d'Afrique du Nord, 26 p.

Bello A.W., 2016 : Effets des inondations sur les conditions de vie des populations vulnérables de la ville de Cotonou. Rev. Ivoir. Sci. Technol, (28 92016) 216-229

Blalogoé C. P., 2018 : Dynamique spatio-temporelle des inondations de 1980-2010 dans le grand Cotonou. Revue de géographie tropicale et d'environnement, 25p.

Capo A., 2008 **:** Urbanisation et risques naturels: Cas de la ville de Cotonou en République Bénin.

Contribution à la prévention et à la gestion des risques naturels en milieu urbanisé. Mémoire d'ingénieur. École Supérieure des Géomètres et Topographes, Le Mans, 57p.

Gbaguidi T. B. 2011. Système d'informations et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou. Mémoire de master / 2ie, 120p.

GIEC 2018 **:** Bilan 2018 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Genève,103 p.

INStaD 2013 : Projections départementales 2002-2030, INStaD .137p.

Lavalin S.N.C 1998 : Assainissement des zones d'extension de Cotonou. Inondations à Cotonou.

PNUD 2019 : Planifier l'adaptation au changement climatique au Bénin.

FUTURE CHANGES IN MEAN AND EXTREME PRECIPITATION OVER NORTH-EAST AFRICA AND ARABIA

Moussa Mohamed WABERI[1], Pierre CAMBERLIN[2], Benjamin POHL[3], Juliette BLANCHET[4], Omar Assowe DABAR[5]

[1] *Observatoire Régional de Recherche sur l'Environnement et le Climat (ORREC), Centre d'Etudes et de Recherche de Djibouti (CERD), Djibouti-ville, République de Djibouti. Email: moussamed1994@gmail.com*
[2] *Centre de Recherches de Climatologie, UMR 6282 Biogéosciences, CNRS/Université de Bourgogne, Dijon, France. Email: pierre.camberlin@u-bourgogne.fr*
[3] *Centre de Recherches de Climatologie, UMR 6282 Biogéosciences, CNRS/Université de Bourgogne, Dijon, France. Email: benjamin.pohl@u-bourgogne.fr*
[4] *Université Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, IGE, Grenoble, France. Email: juliette.blanchet@univ-grenoble-alpes.fr*
[5] *Observatoire Régional de Recherche sur l'Environnement et le Climat (ORREC), Centre d'Etudes et de Recherche de Djibouti (CERD), Djibouti-ville, République de Djibouti. Email: assowe440@gmail.com*

Abstract: Changements futurs des precipitations moyennes et extremes sur l'afrique du nord-est et la penisule arabique. *This study analyzes projected changes in mean and extreme precipitation over Northeast Africa and the Arabian Peninsula using ten CMIP6 models under various SSP scenarios for the mid-to-late 21st century. Results reveal a north-south contrast in precipitation trends during JF and MAM, with declines in the north and moderate increases elsewhere—though with high uncertainty, especially for MAM. In contrast, JJAS and OND show clearer, more robust increases. These trends include more frequent and intense extreme rainfall events. In Djibouti, where model performance is strong, downscaled CMIP6 data suggest the return period for ≥80 mm/day rainfall events will decrease from 5 to 1.4 years by century's end under SSP5-8.5, underscoring the need for enhanced flood adaptation. Similar analyses are recommended for other sub-regions given the consistent rise in precipitation intensity.*

Keywords: *Global Climate Models; Rainfall Projections; Northeast Africa and Arabia; Djibouti*

Résumé : *Cette étude analyse les évolutions projetées des précipitations moyennes et extrêmes sur l'Afrique du Nord-Est et la péninsule Arabique, à partir de dix modèles CMIP6 selon différents scénarios SSP pour le milieu et la fin du XXIe siècle. Les résultats révèlent un contraste nord-sud en JF et MAM, avec une baisse des précipitations au nord et des hausses modérées ailleurs, bien que l'incertitude reste élevée, surtout pour MAM. À l'inverse, les saisons JJAS et OND montrent des hausses plus marquées et plus fiables. Ces tendances s'accompagnent d'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des précipitations extrêmes. À Djibouti, où les modèles sont performants, les données CMIP6 désagrégées indiquent que la période de retour des pluies intenses (≥80 mm/jour) passera de 5 à 1,4 an d'ici la fin du siècle (scénario SSP5-8.5), soulignant l'urgence de renforcer l'adaptation aux inondations. Des analyses similaires sont recommandées pour d'autres sous-régions, compte tenu de la tendance généralisée vers une intensification des pluies.*

Mots-clés : *Modèles climatiques globaux ; Projections de précipitations ; Afrique du Nord-Est et l'Arabie ; Djibouti*

Introduction

North-East Africa and the Arabian Peninsula are highly vulnerable to global warming, facing extreme rainfall variability that leads to severe droughts and intense rainfall events (Palmer *et al.*, 2023, pp. 11–15; Almazroui and Saeed 2020, pp. 1–2). However, limited observational data and complex climate dynamics challenge the accuracy of climate models (GCMs), increasing uncertainties in future climate evolutions.

In Part I of this study (Waberi *et al.* 2024, pp 26–27), we identified 10 CMIP6 models out of 25 that best reproduce historical rainfall patterns in the region. Here, we use these GCMs to assess future changes in mean and extreme precipitation, evaluating the robustness of projections by comparing model spread to current observational uncertainties. Given the climatic connectivity between the two regions, we also examine whether projected trends in rainfall are consistent across sub-regions or diverge due to local climatic drivers. Special

attention is given to Djibouti, a representative case of the study area, characterized by an arid climate and diverse rainfall mechanisms, including monsoon rains, tropical cyclones, and extratropical interactions (Waberi *et al.*, 2023, pp 9–15).

This paper is structured as follows: Section 1 describes the study area, datasets, and methodology. Section 2 presents projected changes in mean and extreme seasonal rainfall (2.1 and 2.2). In Section 3, we downscale CMIP6 projections over Djibouti City (3.1) and analyze future changes in the return period of flood-prone rainfall events (3.2).

1. Data and Methodology

1.1. Description of the study area

The analyses presented in this article will be conducted at two spatial scales: (1) the regional scale, encompassing North-East Africa and Arabia, and (2) the local scale, focusing on the Republic of Djibouti. Figure 1 illustrates these two study domains.

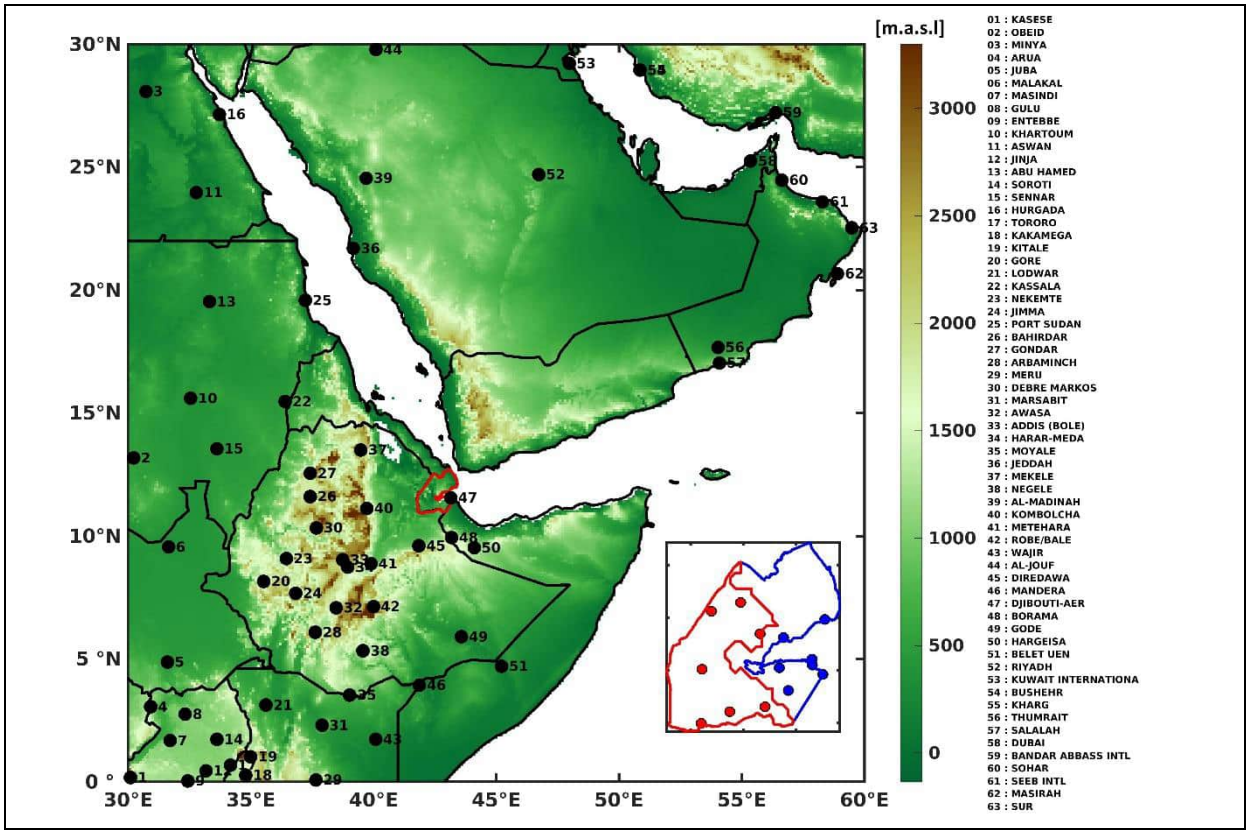


Figure 1. Elevation map of the region of interest, with the inset map showing the Republic of Djibouti and its Eastern (blue) and Western (red) climatic zones as defined by (Assowe Dabar et al. 2021). The dots (black, red and blue) represent rain stations.

1.2. Data sources

This study uses two types of precipitation data: selected CMIP6 models and rain gauge data from Djibouti Airport. Ten CMIP6 models are used to study future projections for three periods (1982-2013, 2035-2065, 2070-2100) according to the SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. The Djibouti Airport station, operational since 1953, provides high-quality daily rainfall data and is part of the WMO World Weather Watch (WMO, 2003, pp 49).

1.3. Methodology

To assess future changes in mean and extreme precipitation at regional and local scales, we calculated relative changes in total rainfall and five ETCCDI indices (Zhang *et al.* 2011): R1mm, SDII, Rx5day, P95, and R95ptot. Given the region's arid nature, the last three indices serve as key indicators of extreme rainfall. Analyses were conducted on annual and seasonal timescales (JF, MAM, JJAS, OND), with absolute rainfall change maps supplementing relative change data where necessary. Using the ensemble mean of selected CMIP6 models (interpolated at EC-Earth3-CC resolution), we considered projected changes robust if at least two-thirds of models agreed on their sign. Additionally, shifts in seasonal contributions to annual rainfall were mapped, given their significance for agriculture and nomadic livelihoods.

For Djibouti City, we applied the CDF-t method (Vrac *et al.* 2012) to bias-correct CMIP6 projections, ensuring better alignment with rain gauge observations from the long-term Djibouti-Airport dataset. This statistical downscaling approach refines raw projections by adjusting for differences in distribution between historical and future periods. Using these corrected datasets, we evaluated mean and extreme precipitation trends and compared them to unadjusted CMIP6 outputs. Finally, we analyzed the return period of extreme rainfall events (for 2070-2100 under SSP5-8.5) using the Generalized Pareto Distribution (Coles, 2001). The critical rainfall threshold for flooding was identified based on historical records, allowing us to assess future flood risks for Djibouti City.

2. Seasonal rainfall projections for Northeast Africa and Arabia

The JF season is characterized by arid conditions across the study region, except for the northern margins and parts of Ethiopia. Projections indicate a decline in annual precipitation in the north and a notable increase in the south, primarily driven by variations in rainfall frequency (R1mm). While CMIP6 models exhibit some uncertainties, robust precipitation increases are anticipated in southern Arabia and East Africa. Extreme rainfall (P95) is projected to intensify, particularly in Somalia and southern Arabia. The most significant absolute increases are expected in the Ethiopian highlands and Oman.

The MAM season is a key rainy period for the region, contributing over 30% of annual precipitation in East Africa and up to 70% in southwestern Saudi Arabia. Future projections indicate similar spatial patterns to JF but with lower intensities and greater uncertainties. Annual rainfall is expected to increase significantly in southern Ethiopia and parts of Somalia, though trends in Arabia and northern Ethiopia remain mixed and uncertain. Changes will be primarily driven by rainfall frequency (R1mm) rather than intensity (SDII). Extreme precipitation is expected to increase, particularly in South Sudan and southern Ethiopia, while southeastern Saudi Arabia may experience slight declines.

The JJAS season is a primary rainy period, contributing 34% of annual precipitation, with particularly high rainfall shares (40–90%) in East Africa and southern Arabia. Future projections indicate widespread increases in total precipitation and rainfall frequency (R1mm), except in southwestern areas where rain days will be less frequent (Figure 2). The highest relative changes (+80%) are expected in most of Arabia, northeastern Africa, and along the Red Sea coast, though absolute increases remain modest in arid regions. Rainfall intensity (SDII) is expected to increase, supporting overall rainfall enhancement despite localized reductions in rainy days (Figure 2). Extreme precipitation (P95, R95ptot) is projected to increase strongly, particularly in northern regions and along the Red Sea, with relative changes of up to +80%. However, absolute increases remain moderate in these dry areas.

The OND season contributes 24% of annual precipitation, with higher shares in the eastern Horn of Africa and northern Arabia. Future projections indicate widespread increases in total rainfall, R1mm, and SDII, though with high uncertainties in very dry areas. The largest absolute increases are expected in the southern region, particularly in Somalia, where OND is a major rainy season. Rainfall intensity (SDII) is projected to rise significantly (+24.5%), supporting overall precipitation increases. Extreme rainfall (Rx5day, P95, R95ptot) is projected to increase, particularly in the northern region, though absolute changes remain modest in arid areas.

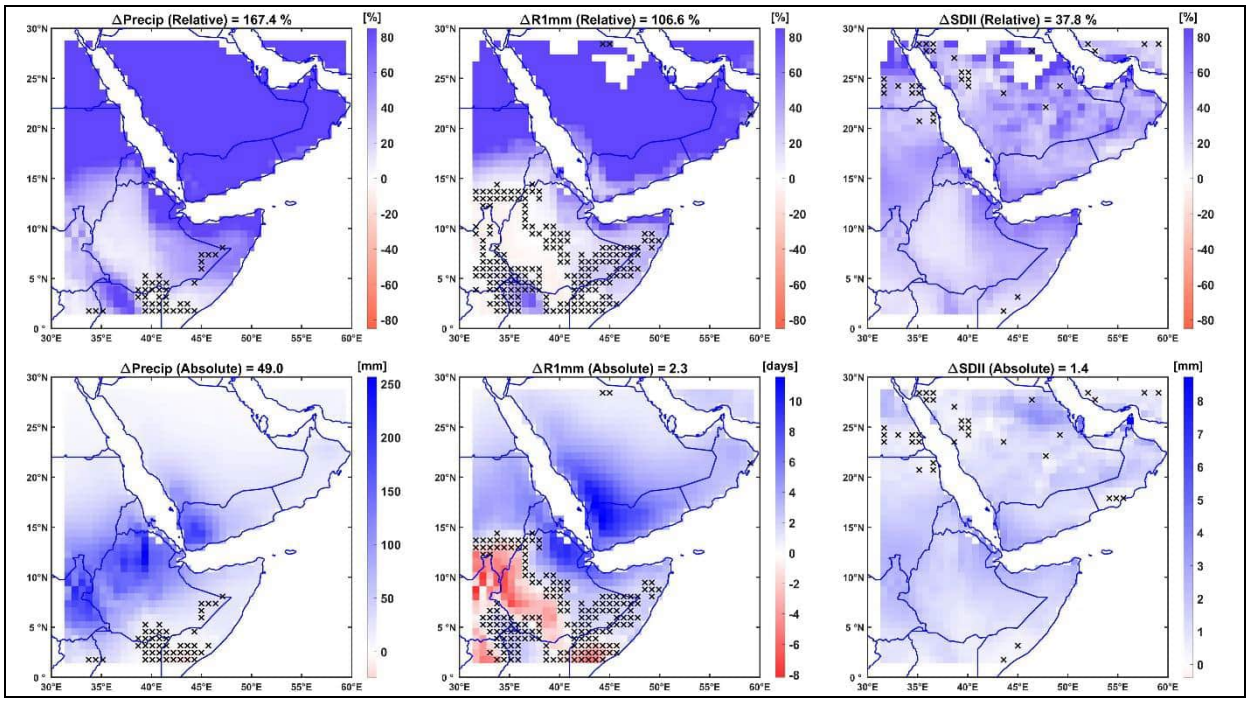


Figure 2. Relative (upper panels) and absolute (lower panels) changes for the JJAS season (changes from 1982-2013) calculated from the CMIP6 ensemble mean for total precipitation (ΔPrecip), number of rainy days per year (ΔR1mm) and simple daily intensity index (ΔSDII) under the SSP5-8.5 scenario for the 2070-2100 period. Crosses indicate grid points where less than 2/3 of the models agree on the sign of the delta. The spatial average is displayed in the title of each subplot, and for the top row, dark blue (dark red) corresponds to values greater than 80% (less than -80%).

3. Return time of flood-prone precipitation in the city of Djibouti

This study examines future changes in the return period of flood-prone rainfall events in Djibouti City. Based on historical data (1980–2020) from the Djibouti-airport station, the minimum 24-hour rainfall threshold for documented floods was identified as 80 mm, corresponding to a 5-year return period in the present climate. Bias-corrected historical simulations confirm this estimate.

Future projections using post-corrected CMIP6 models indicate a general decrease in return periods, meaning an increase in flood-inducing rainfall frequency. Under the low-emission SSP1-2.6 scenario, the return period briefly drops to 3.7 years mid-century before stabilizing near historical values. In the SSP2-4.5 scenario, it declines to 2.6 years by the late century. The high-emission SSP5-8.5 scenario shows the most dramatic change, with the return period shortening to 3.5 years by mid-century and just 1.4 years by 2100 (Figure 3). This suggests that extreme rainfall events could become nearly annual, underscoring the urgent need for climate adaptation and mitigation strategies.

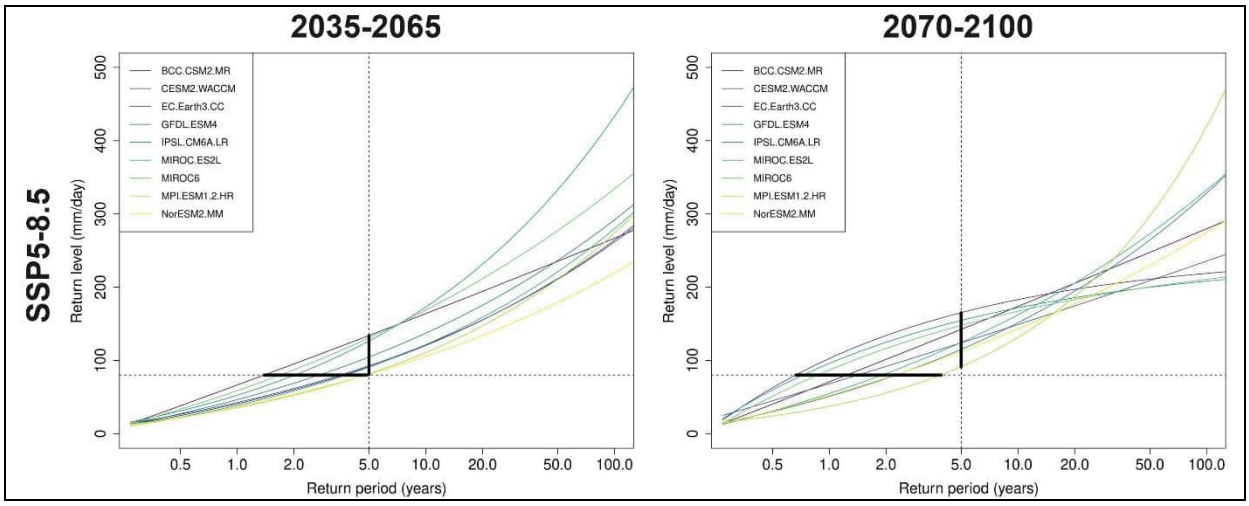


Figure 3. Return level of daily precipitation (mm/day) based on the return period (in years) for the selected and post-corrected CMIP6 models under scenario SSP-8.5 for mid-century (2035-2065) and end-of-century (2070-2100) periods. The thick black vertical (horizontal) line corresponds to the dispersion of return levels (return periods) in the CMIP6 models for a 5-year return period (return level of 80 mm/day).

Conclusion

This study provides for the first time a description of future changes in mean and extreme precipitation over North-East Africa and the Arabian Peninsula. To this aim, we used projections from 10 selected CMIP6 models (where available) under different SSP scenarios to document future changes in mean and extreme precipitation on a seasonal basis for the mid-to late 21st century. For the JF dry season and the MAM wetter season, future changes in total precipitation (both relative and absolute) show a north-south differentiation, with negative values in the north and moderate positive values in the rest of the study region. There are uncertainties in the CMIP6 models regarding the sign of the delta for both seasons, with more pronounced uncertainties for the MAM season. In contrast, JJAS and OND show larger positive changes with less uncertainty between models. Changes in precipitation during JF and MAM are mainly related to changes in precipitation frequency (R1mm) rather than intensity (SDII), whereas for JJAS and OND, both factors contribute almost equally. There are a few exceptions where only intensity is responsible for the increase in seasonal precipitation. The increase in mean precipitation in the study region will be accompanied by an increase in extreme precipitation, both in terms of intensity and frequency. Additionally, the JJAS and OND seasons will contribute more to total annual precipitation, while the JF and MAM seasons will experience a reduction, which will be more pronounced for MAM.

As the selected CMIP6 models were shown in part I to perform well in reproducing the seasonality of rainfall in Djibouti, they were used for a downscaling exercise over this country. Based on reliable daily rainfall observations for the city of Djibouti, CMIP6 data were post-corrected using the CDF-t method. For this city, the ensemble return period for intense rainfall ($\geq$ 80 mm/day) causing documented flooding in the historical period will decrease from 5 years (in the past) to 1.4 years by the end of the 21st century under the SSP5-8.5 scenario. This result is relatively robust across the different climate models, and it suggests that adaptation measures will have to be implemented in order to cope with this higher risk of floods. Given the consistent trend towards higher intensity rainfall over most of the North-East Africa and Arabian Peninsula region in the future, it is advisable to carry out downscaling exercises for other sub-regions, with as a prior requirement to dispose of good quality historical daily time-series adequately portraying the extreme characteristics of the rains.

Acknowledgement

The authors thank the Agence Nationale de Météorologie (ANM) of the Republic of Djibouti for providing local (Djibouti) observations data and the Centre de Recherche de Climatologie (CRC) for regional (North-East Africa and Arabia) rain-gauge data. The authors would like to thank the Centre d'Etudes et de Recherches de Djibouti (CERD), Campus France (French government doctoral scholarship) and the International Atomic Energy Agency (as part of its DJI7003 technical cooperation project with Djibouti) for their financial support. The calculations were performed using the HPC resources of the DNUM CCUB (Centre de Calcul de l'Université de Bourgogne).

References

Almazroui Mansour & Saeed Sajjad (2020). Contribution of extreme daily precipitation to total rainfall over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, ***231***, 104672. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.104672

Assowe Dabar Omar, Camberlin Pierre, Pohl Benjamin, Mohamed Waberi Moussa, Osman Awaleh Mohamed, & Silah-Eddine Sajed (2021). Spatial and temporal variability of rainfall over the Republic of Djibouti from 1946 to 2017. *International Journal of Climatology*, ***41***(4), 2729–2748. https://doi.org/10.1002/joc.6986

Coles Stuart (2001). An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values. *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3675-0

Palmer Paul I., Wainwright Caroline M., Dong Bo, Maidment Ross I., Wheeler Kevin G., Gedney Nicola, Hickman Jonathan E., Madani Nima, Folwell Sonja S., Abdo Gamal, Allan Richard P., Black Emily C. L., Feng Liang, Gudoshava Masilin, Haines Keith, Huntingford Chris, Kilavi Mary, Lunt Mark F., Shaaban Ahmed & Turner Andrew G. (2023). Drivers and impacts of Eastern African rainfall variability. *Nature Reviews Earth & Environment*, ***4***(4), 254–270. https://doi.org/10.1038/s43017-023-00397-x

Vrac, M., Drobinski, P., Merlo, A., Herrmann, M., Lavaysse, C., Li, L., & Somot, S. (2012). Dynamical and statistical downscaling of the French Mediterranean climate: Uncertainty assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *12*(9), 2769–2784. https://doi.org/10.5194/nhess-12-2769-2012

Waberi Moussa Mohamed, Camberlin Pierre, Pohl Benjamin, Blanchet Juliette & Dabar Omar Assowe (n.d.). *Future changes in mean and extreme precipitation over North-East Africa and Arabia: Part 1 - historical simulations*. Retrieved December 7, 2024, from https://www.authorea.com/users/750909/articles/1219607-future-changes-in-mean-and-extreme-precipitation-over-north-east-africa-and-arabia-part-1-historical-simulations

Waberi Moussa Mohamed, Camberlin Pierre, Pohl Benjamin, & Dabar Omar Assowe (2023). Atmospheric drivers of rainfall events in the Republic of Djibouti. *International Journal of Climatology*, ***43***(16), 7915–7934. https://doi.org/10.1002/joc.8299

WMO (Organization), W. M. (n.d.). *World Weather Watch—Twenty-first status report on implementation*. Retrieved August 1, 2024, from https://library.wmo.int/records/item/40023-world-weather-watch-twenty-first-status-report-on-implementation

Zhang Xuebin, Alexander Lisa, Hegerl, Gabriele C., Jones Philip, Tank Albert Klein, Peterson Thomas C., Trewin Blair & Zwiers Francis W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *2*(6), 851-870. https://doi.org/10.1002/wcc.147

LE COMPLEXE ÉCOLOGIQUE PONASI : SOURCE DE RÉSILIENCE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA RÉGION DU CENTRE-SUD DU BURKINA FASO

Wend-kuni Dina Antine ZOUGMORE[1] , Jean-Marie DIPAMA[2]

[1] *Université Virtuelle du Burkina Faso, antine.zougmore@uv.bf, antine2013@gmail.com,*
[2] *Professeur Titulaire en Géographie, Université Joseph KI-ZERBO du Burkina Faso.*

Résumé : *Le complexe écologique PONASI (Pô-Nazinga-Sissili) est un réseau d'aires protégées qui est situé dans l'extrême sud du Burkina Faso. Les entités du complexe sont d'une utilité capitale pour les animaux, surtout dans le contexte du changement climatique, car ils leur permettent de migrer vers des zones plus favorables à leur survie. Cependant, la création de ces entités écologiques est souvent confrontée à une dégradation avancée dans un contexte de changement climatique. L'objectif visé dans cette étude est d'analyser l'évolution future des classes de végétation du complexe écologique PONASI grâce au logiciel IDRISI selva 17.0.*

Mots-clés *: Dégradation, Adaptation, Changement Climatique, Projection.*

Abstract :*The PONASI (Pô-Nazinga-Sissili) ecological complex is a network of protected areas in the far south of Burkina Faso. The entities of the complex are of vital use to animals, especially in the context of climate change, as they enable them to migrate to areas more favourable to their survival. However, the creation of these ecological entities is often confronted with advanced degradation in a context of climate change. The aim of this study is to analyse the future evolution of vegetation classes in the PONASI ecological complex using IDRISI selva 17.0 software.*

Keywords : *Degradation, Adaptation, Climate change, Projection.*

Introduction

Les aires protégées sont des aires spécialement affectées à la protection et au maintien de la diversité biologique, des ressources naturelles et culturelles associées, et dont la gestion a été envisagée par des moyens légaux ou autres moyens efficaces. Elles représentent aussi une superficie forestière principalement affectée à la conservation de la diversité biologique (FAO, 2015). L'Union Internationale de la Conservation de la Nature (UICN) définit une aire protégée comme un espace géographique dont l'objectif principal est de garantir la conservation. Pour l'Organisation pour l'Alimentation et l'Agriculture (2005), la conservation de la diversité biologique renvoie à la gestion des interactions humaines par rapport aux gènes, aux espèces et aux écosystèmes. Elle permet de produire le maximum de bénéfices pour les générations présentes, en assurant en même temps le maintien du potentiel pour satisfaire les nécessités et aspirations des générations futures. La dégradation des forêts est la réduction de la capacité d'une forêt à fournir du bois et des services. Elle renvoie à une perte de la potentialité de la forêt à produire les services écosystémiques. Cela peut être à l'origine d'un changement dans la composition de ses espèces sous la contrainte de la surexploitation, des feux, de l'invasion des espèces exotiques, de la pollution ou d'autres facteurs (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Afin d'analyser la capacité d'adaptation du complexe écologique PONASI (Pô-Nazinga-Sissili) aux différentes menaces, la modélisation de la dynamique spatio-temporelle des terres a été faite. Le complexe écologique PONASI est un réseau d'aires protégées qui est situé dans l'extrême sud du Burkina Faso. Il s'étend sur une superficie de 327 000 ha. C'est le deuxième plus important continuum d'aires protégées du Burkina Faso après celui du complexe écologique WAP (Parc W, Arly et Pendjari) à l'Est du Burkina Faso. Ce complexe est entouré de onze zones villageoises d'intérêt cynégétique (zovic). Au centre de ce complexe, se trouve

un couloir de migration des éléphants dénommé le corridor n°1 qui a une superficie de 4.500 ha. Il relie le Parc National de Pô et le Ranch de Gibier de Nazinga.

1- Données et Méthodes

1.1. Données et Outils de traitement des données

- Plusieurs types de données ont été mobilisés pour mener à bien cette étude. Il s'agit des données pluviométriques de la station synoptique de Pô de 1993 à 2023.
- Des images Landsat ont été également mises à contribution dans le cadre de la modélisation grâce à plusieurs bandes. Pour les capteurs TM, ETM+, OLI/TIRS (4) quatre bandes ont été retenues à savoir :
- la bande TM 1 : Bleu – Vert : (0.4 - 0.5 μm) qui permet de distinguer le sol et la végétation. Elle peut être utilisée pour la discrimination du sol et de la végétation ;
- la bande TM 2 : Vert : 0.52 – 0.60 μm. Elle possède le maximum de réflexion de la végétation dans le domaine du visible ;
- la bande TM 3 : 0.63 – 0.69 μm. Elle représente la bande rouge qui est la bande d'absorption de la végétation, importante dans la discrimination des types de végétation et du rayonnement le plus absorbé par la végétation vivante ;
- la bande TM 4 : 0.76 – 0.90 μm. Elle représente la bande Proche Infra Rouge (PIR).

Elle est fortement réfléchie par la végétation. Le contraste entre la végétation et l'eau est maximum dans cette bande. La réflexion varie selon les espèces végétales.

Dans le cadre de la présente étude, huit (8) variables explicatives dont les localités, les routes, les rivières, les empiètements, les exploitations illégales, les pentes, le SRTM, les cours d'eau ont été intégrées dans le modèle pour expliquer les transitions. Ces variables proviennent de la base nationale des données topographiques (BNDT) de 2002.

Les outils de traitement des données ont concerné les logiciels IDRISI Selva 17.0, ArcMap 10.5 et Excel 2016. Ces outils ont servi respectivement à faire la modélisation, la réalisation des cartes et à concevoir l'Indice de Précipitation Standardisé.

1.2. Méthodes

Il existe, en effet, plusieurs approches de modélisation de la dynamique spatio-temporelle des terres à savoir l'approche SIG, le modèle linéaire généralisé et les réseaux neuronaux. La première approche a l'avantage de fournir des cartes de probabilité. Elle doit se passer dans le contexte de la dynamique spatio-temporelle avec une phase de la validation (Paegelow *et al.,* 2004). Les deux images antérieures permettent de faire une extrapolation afin de prédire l'occupation pour une date dont l'occupation des sols est connue (Maestripieri et Paegelow, 2013). La validation à partir d'un taux de précision de 73 % au minimum offre un pourcentage satisfaisant pour prédire avec exactitude l'occupation des sols. L'approche qui a été utilisée ici est l'approche SIG grâce au modèle Land Change Modeler (LCM) du logiciel IDRISI 17.0 Selva. Ce modèle stochastique permet grâce à la chaîne de Markov de prédire l'évolution de l'occupation des sols à partir de deux dates antérieures (Chaîne de Markov d'ordre 2). Les deux dates antérieures retenues dans le cadre de cette étude sont 1986 et 1998 qui correspondent aux deux premiers pas temporels de l'étude sur la dynamique.

Ensuite, une base de données sur les variables explicatives de la dynamique spatio-temporelle de l'occupation des terres a été faite. Certaines variables peuvent être limitées par plusieurs facteurs tels que l'indisponibilité, l'impossibilité de spatialisation et leur niveau

d'influence sur les différentes transitions de l'occupation des sols (Maestripieri et Paegelow, 2013). La dernière date antérieure de cette analyse est 1998 et les données BNDT datent de 2002. Cela s'explique par le fait que le Burkina Faso ne dispose pas d'une BNDT antérieure à 2002. Le masque de 1986 a servi à découper ces variables dans leur format vecteur. En outre, sous ArcMap 10.5, ces variables découpées ont été transformées en format raster suivant l'environnement du premier pas temporel de l'année 1986 avec une résolution spatiale de 30 m x 30 m. Elles ont par la suite été importées sous IDRISI 17.0 Selva où les valeurs ont été modifiées en 0 et 1 sous l'option Reclass du paramètre Database Query du menu GIS Analysis. La valeur nulle correspond à la valeur des pixels qui sont situés hors de la zone d'intérêt. La valeur n°1 quant à elle, renvoie aux valeurs des pixels situés à l'intérieur des contours du masque. Ensuite, la zone d'influence de chaque variable est calculée avec l'option Distance du paramètre Distance Operators sous le menu GIS Analysis.

Les cartes de distances obtenues ont été multipliées par le masque afin d'extraire la zone d'étude. Après ces étapes, ont suivi celles du calcul des probabilités. Ces calculs des probabilités de transition permettent de prédire l'occupation du sol par une analyse des chaînes de Markov. Cette phase commence avec l'analyse du changement dans le modèle LCM entre les pas temporels de 1986 et de 1998. Le potentiel de transition permet de calculer les transitions qui ont été préalablement sélectionnées. L'option Transition Sub-Model / Status a défini les transitions à calculer. Au vu du nombre très important de transition et de la difficulté à pouvoir toutes les analyser, les transitions dont les superficies sont supérieures ou égales à 500 hectares ont été calculées. L'option Transition Sub-Model / Structure est l'option qui permet d'intégrer les variables explicatives de cette transition. Run Transition Sub-Model est l'option qui calcule à travers 10 000 itérations tout en précisant le taux de précision.

Afin de mettre en évidence la variabilité interannuelle et les tendances pluviométriques en distinguant les saisons pluvieuses excédentaire et déficitaire, l'Indice de Précipitation Standardisé (IPS) a été utilisé.

2- Résultats et Discussion

Les critères de sélection des transitions qui ont été appliquées ont permis de retenir neuf transitions qui sont les plus importantes. Les transitions vers la même unité d'occupation des terres ont été regroupées dans un seul sous-modèle afin de connaître les variables qui contribuent significativement aux changements vers cette classe. Pour chaque sous-modèle, un rapport a été généré dont l'interprétation a permis de connaître le niveau d'influence de chaque variable dans l'explication des changements survenus à savoir:

- les transitions vers la forêt galerie/savane boisée;
- les transitions vers la savane arborée;
- les transitions vers les savanes arbustives peu dégradées à faible couverture herbeuse;
- les transition vers les savanes arbustives dégradées à forte couverture herbeuse;
- les transitions vers les champs.

En ce qui concerne la classe de végétation forêt galerie/savane boisée, trois principales transitions ont significativement contribué à la survenue des changements. Il s'agit des transitions savane arborée à forêt galerie/savane boisée, savane arbustive peu dégradée à faible couverture herbeuse à forêt galerie/savane boisée et savane arbustive dégradée à forte couverture herbeuse à forêt galerie/savane boisée. Ces trois transitions ont été regroupées dans un seul sous-modèle. Dans ce sous-modèle, sept (7) variables à savoir les variables sur les rivières, les localités, les routes, les délits d'empiètements, les délits d'exploitation, les pentes

et les données sur le modèle numérique de terrain ont contribué à expliquer les transitions. L'interprétation du tableau et du graphe qui ont été généré dans ce sous-modèle a permis de comprendre que les variables exploitations, localités, rivières, routes, pentes et le modèle numérique de terrain expliquent le sous-modèle à un pourcentage de 98,5%.

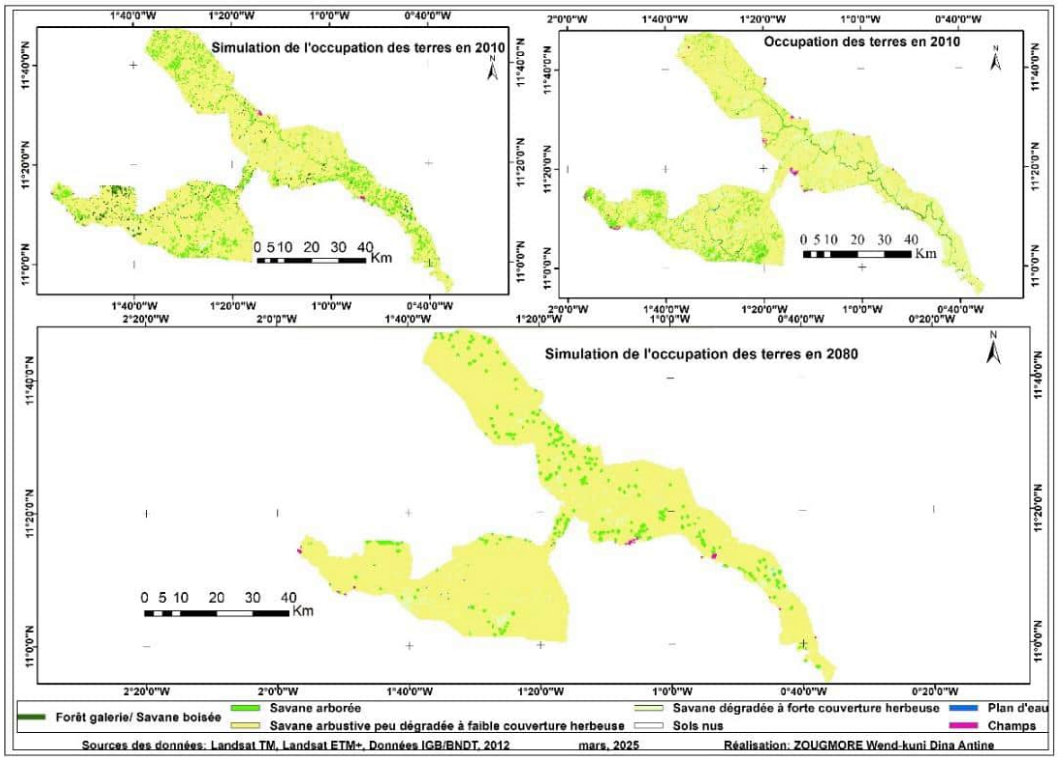


Figure 1. Occupation des terres en 2010 et simulation de l'occupation des terres en 2010 et en 2080.

Afin de valider les résultats du modèle, la simulation de la carte de l'occupation des terres en 2010 a été faite. Le croisement des images de l'occupation des terres (simulée et observée) de 2010 a permis d'établir une matrice. A la suite, l'indice d'accord de KAPPA ou « Kappa Index of Agreement (KIA) » a été calculé. Le Kappa général qui a un taux de 78 % signifie que les résultats de la projection ont une précision de 78%. Cette validation au préalable a contribué à prédire l'évolution de l'occupation des terres du complexe à l'horizon 2080 soit une centaine d'années après la mise en œuvre de la gestion participative des ressources naturelles.

L'interprétation visuelle de cette projection a permis d'observer une physionomie du complexe écologique PONASI qui sera dominée par la classe de végétation savane arbustive peu dégradée à faible couverture herbeuse. Certains événements n'ont pas pu être pris en considération dans ce modèle. Ainsi, la guerre, un déplacement massif de la population vers les zones limitrophes du complexe peuvent contribuer à influencer les résultats de ces prévisions. Cela entraînera une baisse de la biodiversité et une réduction de la faune qui ne sera plus en mesure de se déplacer entre le parc de Pô et le Ranch de Nazinga pour s'adapter aux aléas de la sécheresse.

Les saisons de pluies excédentaire et déficitaire sont respectivement situées au-dessus et en dessous de l'axe 0 (Ouédraogo, 2012). La Figure ci-dessous présente les tendances pluviométriques de la station synoptique de Pô de 1989 à 2018.

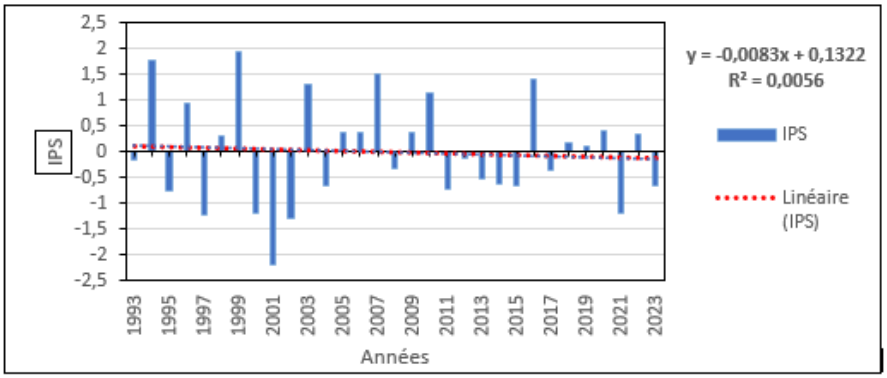


Figure 2. Indice Pluviométrique de la station synoptique de Pô de 1993 à 2023

Source des données : Agence Nationale de la Météorologie du Burkina, 2023

L'IPS permet d'observer une alternance d'années d'excédents et de déficits pluviométriques. La courbe de tendance est pratiquement confondue à l'axe des abscisses et est quasi stationnaire. Cela témoigne de la succession assez fréquente et du nombre égal entre les années de pluviométries excédentaires et déficitaires.

Selon 100% des ménages enquêtés, les facteurs de dégradation des ressources du complexe écologique PONASI sont d'ordre anthropique et climatique. Les perceptions du changement climatique se font à travers l'augmentation des températures, l'irrégularité et/ou la baisse des pluies, le tarissement précoce des sources d'eau, l'apparition des vents violents. Cela corrobore les résultats de Kaboré *et al.*(2019). Selon le sixième rapport du GIEC, la transformation des écosystèmes et la perte de la biodiversité ont de fortes répercussions sur les sociétés humaines. La dégradation des écosystèmes du complexe écologique PONASI est de nature à réduire la capacité d'adaptation et d'atténuation au changement climatique. En effet, les corridors revêtent des enjeux de conservation de la biodiversité et d'adaptation aux conséquences écologiques néfastes des changements climatiques. La fragmentation ou la dégradation de ces entités réduit la capacité de migration des animaux au sein du complexe. Le GIEC (2022) dans son sixième rapport a abouti aux mêmes conclusions concernant les impacts du changement climatique sur les écosystèmes et la biodiversité.

Conclusion

Les aires protégées sont d'une utilité capitale pour les animaux, surtout dans le contexte du changement climatique. Le complexe écologique PONASI est un bastion de la biodiversité. Mais ces écosystèmes sont en phase de dégradations. La modélisation de la dynamique spatio-temporelle des unités d'occupation des terres de ce complexe laisse entrevoir une continuelle dégradation des ressources. Sur la base de ces résultats, des précautions doivent être prises afin d'éviter une intinction de certaines espèces végétales et animales.

Bibliographie

FAO, 2005 : *Termes et Définitions (Version définitive), mise à jour de l'évaluation des ressources forestières mondiales à 2005*. Programme d'évaluation Document de travail des ressources forestières. Rome 2004. 36 pages.

FAO, 2015 : *Évaluation des ressources forestières mondiales 2015. Termes et Définitions.* Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture - Document de travail de l'évaluation des ressources forestières. 37 pages.

IPCC, 2022 : *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

Kabore P. N., Barbier B., Ouoba P., Kiema A., Some L. et Ouedraogo A., 2019 : Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. URL :http://journals.openedition.org/vertigo/24637 ;
DOI :https://doi.org/10.4000/vertigo.24637

Maestripieri N. et Paegelow N., 2013 : *Validation spatiale de deux modèles de simulation : l'exemple des plantations industrielles au Chili.* Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, http://journals.openedition.org/cybergeo/26042.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005 : *Ecosystems and Human Well-being: A framework for assessment.* 245 p + Appendix. ISBN 1-55963-403-0

Ouédraogo L., 2012 : Gestion de l'eau et adaptation des populations au changement climatique dans le bassin versant de YAKOUTA (sahel du Burkina Faso). Thèse de doctorat de Géographie : Université ABDOU MOUMOUNI. Niger. 231 p. + annexes.

Paegelow M., Villa N., Cornez L., Ferraty F., Ferré L. et Sarda P., 2004 : *Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne*. Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 295, URL : http: // journals.openedition.org/ cybergeo/ 2811. 60 p DOI : https: // doi.org/ 10.4000/ cybergeo.2811. Consulté le 27 novembre 2020.

CLIMAT ET SANTÉ

VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE AU NO_2 PAR TEMPS STABLE DURANT LA SAISON ESTIVALE DANS LE 13EME ARRONDISSEMENT DE PARIS

Mohamed Ali ABDMOULEH [1] et Salem. DAHECH [2]

[1]*Université Paris Cité, Faculté Sociétés et Humanités, UFR GHES UMR 8586 du CNRS (PRODIG), France,* abdmouleh.mohamedali@yahoo.com, mohamed-ali.abdmouleh@u-paris.fr.

[2]*Université Paris Cité, Faculté Sociétés et Humanités, UFR GHES UMR 8586 du CNRS (PRODIG),* salem.dahech@gmail.com, salem.dahech@u-paris.fr.

Résumé *: Ce travail a pour objectif d'analyser la variabilité spatio-temporelle du NO_2 dans le XIII[e] arrondissement de Paris pendant la période estivale et aux heures de pointe. Cette étude confirme que le trafic routier est le principal facteur déterminant. Les résultats issus des campagnes de mesures semi-itinérantes, réalisées sur une grille couvrant l'ensemble de l'arrondissement, montrent une forte variabilité des concentrations de NO_2. En effet, le long des routes principales, les concentrations varient entre 139 et 154 µg/m³, et atteignent 180 µg/m³ au boulevard périphérique.*

Mots clés : NO_2, modélisation, trafic routier, pollution de l'air, Paris XIII

SPATIO-TEMPORAL VARIABILITY OF ATMOSPHERIC NO_2 POLLUTION UNDER STABLE WEATHER CONDITIONS DURING THE SUMMER SEASON IN THE 13TH ARRONDISSEMENT OF PARIS.

Abstract. *This study aims to analyze the spatio-temporal variability of NO_2 in the 13th arrondissement of Paris during the summer period and peak traffic hours. The study confirms that road traffic is the primary determining factor. Results from semi-mobile measurement campaigns conducted on a grid covering the entire district reveal significant variability in NO_2 concentrations. In fact, on major roads, concentrations range between 139 and 154 µg/m³, with the highest value of 180 µg/m³ recorded at the Boulevard Périphérique.*

Keywords: NO_2, modeling, road traffic, air pollution, Paris XIII

Introduction

À l'échelle mondiale, plus de la moitié de la population vit désormais en zones urbaines (Banque mondiale, 2023). L'urbanisation et l'industrialisation rapides ont entraîné une exposition accrue à la pollution de l'air, affectant la santé des populations urbaines (Cobbinah et *al*., 2015, GIEC, 2022). Près de neuf individus sur dix respirent un air contenant des composés polluants, induisant ainsi un impact notable sur les tissus pulmonaires (OMS, 2018). La pollution liée à la circulation est identifiée comme la principale source d'émissions de NO_2 (He et *al*., 2020). En Ile-de-France le transport routier est le principal émetteur de la pollution de l'air de 53 % des émissions de NOx (Airparif, 2021). En raison de ses effets néfastes sur la santé humaine, le NO_2 est considéré comme particulièrement dangereux. Le NO_2 est reconnu comme l'un des principaux facteurs de risque environnemental et de menace pour la santé, étant donné qu'il a été lié à des problèmes de santé publique aigus, à une augmentation de la mortalité (Fenech et Aquilina, 2020; Schwartz et *al*., 2018). *En Île-de-France, l'agglomération parisienne couvre 25 % de la région, concentre 89 % de la population et génère 72 % des émissions régionales de NOx (Airparif, 2022). En raison de la circulation routière, Paris se classait au neuvième rang mondial pour le pourcentage de décès liés à la pollution atmosphérique des transports (ICCT, 2019).* Airparif estime que «***4,6 millions de franciliens sont concernés par*** *le dépassement des recommandations OMS* » (Airparif, 2019). La qualité de l'air dépend à la fois des polluants présents dans l'atmosphère et des conditions

météorologiques ou climatiques. Parmi ces conditions, le vent et la stabilité de l'atmosphère jouent un rôle central dans la dispersion des polluants. Dahech (2007) souligne que le vent est le paramètre météorologique ayant le plus d'impact sur la qualité de l'air. Cette étude se concentre sur la cartographie du NO_2, principalement émis par le transport routier, dans le XIIIe arrondissement de Paris pendant la saison chaude, sous des conditions atmosphériques stables. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre de la thèse. L'objectif principal est d'analyser les variations spatiales du NO_2 en s'appuyant sur des campagnes de mesures semi-itinérantes. Cette approche permet de pallier les limites des données fournies par la seule station de surveillance d'AIRPARIF, en proposant une couverture spatiale plus fine.

1. Zone d'étude, méthodes et données

Le XIIIe arrondissement de Paris, situé dans la région Île-de-France, couvre une superficie de 7,2 km² et abrite une population de 177 833 habitants, soit une densité de 24 871 habitants par kilomètre carré (Insee, 2022). Le XIIIe arrondissement de Paris présente une diversité d'emplois, avec une concentration notable dans les secteurs de l'administration publique, de la santé et de l'enseignement. Il affiche une densité de population de 253 habitants par hectare, légèrement supérieure à la moyenne parisienne qui est de 250 habitants par hectare (Apur, 2021). Parmi ses zones les plus densément peuplées figurent des quartiers historiques, développés principalement dans les années 1970, tels qu'Olympiades, Place Nationale, Place d'Italie et Place Pinel. Ces quartiers se distinguent par un réseau routier dense et homogène, organisé selon des axes nord-sud et est-ouest. Par ailleurs, le XIIIe arrondissement compte une importante proportion de logements sociaux, avec un total de 35 583 unités (Apur, 2021). Cette forte concentration résidentielle, combinée à une circulation routière importante, contribue de manière significative à la pollution atmosphérique et accentue la vulnérabilité de ses habitants.

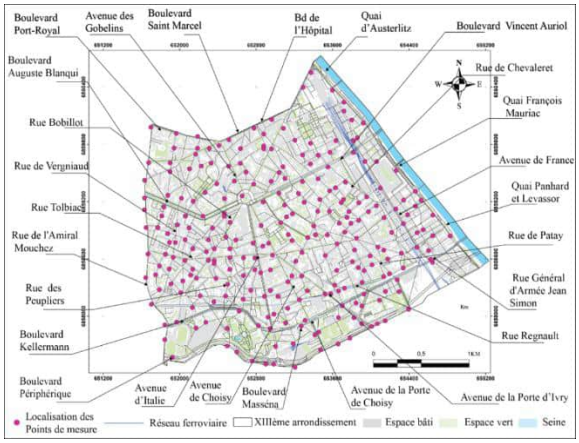


Figure 1. Localisation des points de mesures (Direction de l'Urbanisme - Ville de Paris, 2016).

Les cartes que nous avons élaborées reposent sur les mesures collectées dans l'ensemble de la zone d'étude (fig1). Un protocole identique a été appliqué à chaque point, garantissant la comparaison des données. L'appareil Aeroqual Series, utilisé dans ce travail, réalise des enregistrements automatiques toutes les minutes, avec un affichage actualisé toutes les cinq secondes. Pour chaque appareil, nous avons relevé les valeurs affichées pendant la période d'enregistrement. La rareté des mesures temporelles et spatiales issues des outils de surveillance mobiles a motivé la production de données plus représentatives. Les mesures ont été réalisées entre juillet 2020 et septembre 2021. La classification des dates des campagnes de mesures en fonction des types de temps a été effectuée. Dans cette étude, nous étudions les jours de situations stables durant la saison chaude. La méthodologie de notre étude repose sur la

subdivision de la zone d'étude en une grille de 272 points bien répartis. La sélection de cette grille a été réalisée après plusieurs sorties sur le terrain, garantissant une répartition spatiale optimale. L'ensemble des points a été couvert trois fois. Ces points, espacés de 150 mètres au maximum, ont été placés le long des axes principaux, secondaires et du boulevard périphérique (Fig.1). Les relevés ont été effectués les jours ouvrables, aux heures de pointe (07h30-09h30 et 17h00-19h30), et excluent les week-ends en raison de la réduction du trafic routier. La valeur médiane par point a été retenue. En complément, le nombre de véhicules et de piétons a été comptabilisé. Les données météorologiques proviennent de la station Paris Montsouris (14e arrondissement), gérée par Météo France. Une interpolation spatiale, basée sur la méthode IDW, a été réalisée à l'aide de l'outil ArcGIS® Geostatistical Analyst. Pour modéliser la pollution de l'air, nous avons privilégié une approche basée sur la Régression Linéaire Multiple. Cette méthode permet de prendre en compte les paramètres influant sur les concentrations de NO_2 durant la saison estivale, par temps stable et en dehors des périodes de vacances. Elle vise à établir des relations linéaires entre les concentrations de NO_2 et et plusieurs variables explicatives, notamment la morphologie urbaine, les conditions météorologiques et la circulation. La vitesse du vent n'a pas été prise en compte comme variable explicative, car durant la période étudiée, les conditions atmosphériques étaient stables avec une vitesse du vent inférieure à 2 m/s. Notre méthodologie s'est articulée autour de plusieurs étapes clés. Nous avons effectué un traitement des données en les segmentant selon les saisons afin d'intégrer les variations climatiques. Le logiciel statistique XLSTAT a été utilisé pour la mise en œuvre de la Régression Linéaire Multiple. En tenant compte de plusieurs variables explicatives, nous avons pu capturer les interactions et les influences croisées entre différents paramètres

2. Variabilité spatio-temporelle de NO_2 par temps stable au XIIIe arrondissement de Paris

L'impact du trafic automobile sur la pollution de l'air par le NO_2 est indéniable. Pour appréhender plus efficacement ces variations de NO_2, nous adoptons une approche basée sur l'analyse fréquentielle des concentrations de NO_2. Le percentile 75, correspondant à une concentration de 116 µg/m3 pour les périodes de temps stables

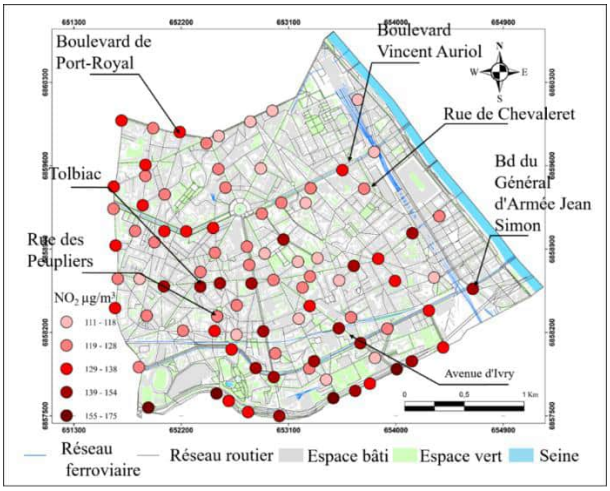


Figure 2. Concentrations de NO_2 >P75 au XIIIe arrondissement en 2020 et 2022 par temps stable estival en dehors des vacances (Données Aéroqual séries 500, 47 campagnes de mesures: Abdmouleh, 2023).

Par ailleurs, des concentrations variant de 139 à 154 µg/m^3 ont été relevées dans différents endroits, notamment le long des principaux axes routiers tels que le boulevard Auguste-Blanqui, le boulevard Vincent Auriol, le boulevard Kellermann, ainsi que dans certaines rues secondaires

comme la rue Patay, l'avenue d'Ivry et la rue des Peupliers. Ces zones présentent également une densité de circulation automobile élevée, en particulier sur le boulevard périphérique, ce qui pourrait contribuer à l'augmentation des niveaux de NO_2. Nous avons également remarqué une forte variabilité dans les concentrations, avec des valeurs allant de 119 à 128 µg/m^3 concentrées du côté de l'avenue des Gobelins, de la rue de Chevaleret, de la rue Bobillot et de la rue Vergniaud. Cependant, quelques concentrations moins élevées (de 111 à 119 µg/m^3) ont été relevées au nord-est, notamment sur l'avenue de Choisy et le boulevard de l'Hôpital. Nous avons observé des concentrations élevées dépassant 130 µg/m^3 dans des voies secondaires comme l'avenue Edison, la rue de la Santé et la rue de la Glacière (Fig.2). Ces phénomènes peuvent être expliqués par la fréquence de passages de camions et des embouteillages causés par des bus, contribuant ainsi à accroître les niveaux de NO_2 dans ces zones spécifiques.

3. Modélisation statistique des niveaux de NO_2 par temps stables estivales

Nous nous sommes appuyés sur une base de données composée de 520 observations. Grâce à l'analyse de régression linéaire multiple, nous pouvons obtenir des coefficients significatifs établissant des liens de cause à effet entre les variables explicatives et les niveaux de NO_2. Les dix variables explicatives sélectionnées pour construire le modèle, on retrouve notamment : la nature du site (canalisé ou abrité) (site), le nombre de voitures (nb_voiture), la direction de la circulation (sens_circulation), la largeur de la rue (largeur_rue), la distance par rapport au croisement (dist_crois), la hauteur du bâtiment (Haut_bat), la largeur du canyon (largeur canyon), l'humidité (Humidité), le nombre de camion (nb_camion) et le rayonnement solaire (radia_sol_ensol). Avec la régression linéaire, nous avons construit un modèle ajusté qui nous permet d'obtenir les coefficients de régression décrivant la relation linéaire entre les variables explicatives et les niveaux de NO_2. Grâce à cette approche, nous avons pu modéliser le NO_2 comme une combinaison linéaire de ces variables explicatives, nous permettant ainsi de comprendre leur contribution respective aux variations observées des niveaux de NO_2.

L'équation du modèle de régression pour expliquer le niveau de NO_2 (en µg/m^3) en fonction des variables explicatives est la suivante :

NO_2 = 18,92 - 3,41 * site + 0,12 * nb_voiture - 10,56 * Sens_circulation + 0,16 * largeur_rue - 0,02 * Dist_crois + 0,06 * Haut_bati - 0,13 * Largeur_canyon + 1,00 * Humidité - 0,25 * nb_camion + 0,09 * radia_sol_ensol (Abdmouleh, 2023).

Les trois quarts de la variabilité des niveaux de NO_2 sont expliqués par notre modèle statistique. Cette équation nous permet donc de prédire les niveaux de NO_2 en fonction des différentes variables explicatives du modèle. Les résultats montrent un coefficient de détermination R^2 = 0,77, indiquant une corrélation forte entre les niveaux de NO_2 et les 10 variables intégrées dans le modèle. À partir de cette régression, un modèle ajusté a été construit pour déterminer les coefficients de régression décrivant les relations linéaires entre les variables explicatives et les niveaux de NO_2. Cette approche a permis de modéliser les concentrations de NO_2 comme une combinaison linéaire de ces variables, offrant une meilleure compréhension de leur contribution respective aux variations observées des niveaux de pollution (Fig.3). Les résultats mettent en évidence des niveaux particulièrement élevés de NO_2, variant de 160 à 180 µg/m³, observés le long du boulevard périphérique et dans certaines parties du boulevard Masséna (Fig.3). De plus, des concentrations comprises entre 139 et 154 µg/m³ ont été relevées sur plusieurs axes principaux, notamment le boulevard Auguste-Blanqui, le boulevard Vincent Auriol, le boulevard Kellermann, ainsi que sur des rues secondaires comme la rue Patay, l'avenue d'Ivry et la rue des Peupliers. Ces zones se caractérisent par une densité de circulation automobile

importante, notamment sur le boulevard périphérique, ce qui contribue significativement à l'augmentation des niveaux de NO_2. En revanche, des concentrations plus faibles, allant de 119 à 128 µg/m³, ont été enregistrées le long de l'avenue des Gobelins, de la rue de Chevaleret, de la rue Bobillot et de la rue Vergniaud. Quelques zones présentent même des concentrations plus basses, comprises entre 111 et 119 µg/m³, comme l'avenue de Choisy et le boulevard de l'Hôpital (Fig.3). Toutefois, certaines voies secondaires, telles que l'avenue Edison, la rue de la Santé et la rue de la Glacière, affichent des concentrations dépassant 130 µg/m³, souvent dues aux embouteillages causés par des passages fréquents de camions et de bus. Concernant les autres routes secondaires, deux niveaux de pollution distincts ont été identifiés : des concentrations relativement élevées, entre 85 et 105 µg/m³, sur des zones comme le triangle de Choisy et la rue Nationale, et des niveaux plus faibles, entre 50 et 85 µg/m³, relevés sur des axes tels que la rue de l'Amiral Mouchez et la place de Rungis (Fig.3).

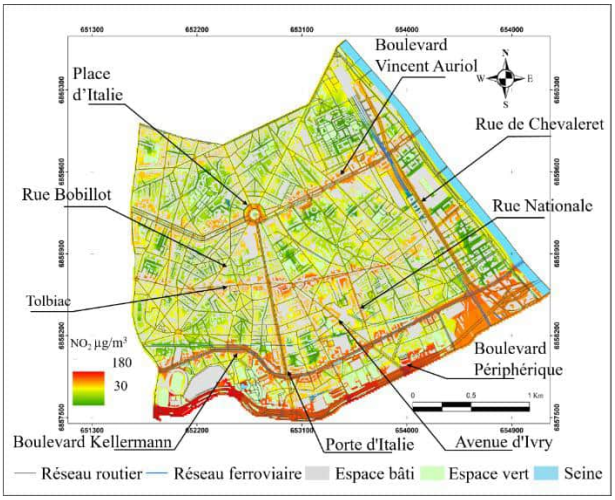


Figure 3. La distribution de la répartition spatiale des concentrations du NO_2 au XIIIe arrondissement du trafic routier, régression linéaire (Moyenne de 5 minutes par point, validée trois fois, mesures réalisées entre juillet 2020 au septembre 2021: Abdmouleh, 2023).

Ces résultats illustrent la diversité des concentrations de NO_2 en fonction des caractéristiques de chaque voie, soulignant des disparités importantes dans la qualité de l'air du XIIIe arrondissement de Paris. Dans des conditions météorologiques stables, comme celles observées le 19 septembre 2021, une variation spatiale marquée des concentrations de NO_2 a été relevée. Entre le 20 et le 24 septembre 2021, une situation anticyclonique avec une forte pression atmosphérique (oscillant entre 1020 hPa et 1030 hPa) a persisté, favorisant des niveaux moyens de pollution parfois élevés. Cette période, caractérisée par des nuits consécutives de temps stable, illustre l'impact des conditions météorologiques sur les variations des concentrations de NO_2 dans l'arrondissement. Les vents étaient faibles à modérés du Nord Est, et les températures minimales relativement basses, variant entre 11°C et 22°C à Paris Montsouris, le ciel clair a favorisé les inversions thermiques. Au cours de cette période, le débordement d'une dorsale barométrique en altitude, combiné à l'anticyclone des Açores en surface ont contribué à un temps stable

Conclusion

L'étude a établi un lien significatif entre la densité du trafic routier et les niveaux de NO_2 dans le XIIIe arrondissement de Paris. Les axes à trafic dense, tels que le boulevard périphérique, ont enregistré des concentrations largement supérieures à 180 µg/m³, en corrélation avec des flux dépassant 400 véhicules en 5 minutes. Des valeurs notables, oscillant entre 150 et 180

µg/m³, ont également été relevées sur des croisements stratégiques comme ceux de l'avenue d'Ivry, du boulevard Masséna, et de la rue Nationale, soulignant le rôle clé de ces zones dans l'émission locale de NO_2. Lors des périodes de stabilité atmosphérique, une accumulation des concentrations de NO_2 a été constatée. Par exemple, entre le 20 et le 24 septembre 2021, les vents faibles à modérés du Nord-Est, les températures minimales relativement basses (variant entre 11 °C et 22 °C à Paris Montsouris) et un ciel clair favorisant les inversions thermiques ont limité la dispersion des polluants. Cette situation a été accentuée par le débordement d'une dorsale barométrique en altitude et la présence de l'anticyclone des Açores en surface, créant ainsi un environnement stable propice à une pollution atmosphérique élevée. Enfin, ces résultats confirment l'impact déterminant du trafic routier sur la qualité de l'air et mettent en lumière l'influence des conditions météorologiques stables. Ils soulignent la nécessité de stratégies spécifiques, telles que la réduction du trafic dans les zones critiques et l'optimisation des flux routiers, pour limiter les concentrations de NO_2 et améliorer la qualité de l'air dans le XIIIe arrondissement.

Bibliographie

Abdmouleh, A., 2023. *Pollution de l'air et sonore dans Paris à l'échelle intra-urbaine : répartition spatio-temporelle pendant et en dehors de la période de confinement du COVID-19 dans le XIIIème arrondissement*. Thèse de doctorat, Université Paris Cité, **628 p.**

Airparif., 2019 : *Bilan de la qualité de l'air Année 2018* (Surveillance et Information en Île-de-France) [Bilan].

Airparif., 2022: *Bilan des émissions atmosphériques en Île-de-France Année 2019* (Surveillance et Information en Île-de-France) [Bilan].

Airparif., 2021 : *Bilan de la qualité de l'air Année 2018* (Surveillance et Information en Île-de-France) [Bilan].

Apur, 2021. Synthèse du diagnostic territorial 13e arrondissement. Le diagnostic territorial du PLU. Apur : Atelier parisien d'urbanisme, Paris, France, **40 p.**

Banque mondiale, 2023 : *Développement urbain*. Banque mondiale. https://www.banquemondiale.org/fr/topic/urbandevelopment/overview.

Cobbinah P.B., Erdiaw-Kwasie M.O., Amoateng P. 2015 : *Africa's urbanisation: Implications for sustainable development. Cities,* Current Research on Cities (CRoC) **47**, 62–72. https://doi.org/10.1016/j.cities.2015.03.013

Dahech S., 2007 : *Vent, type de temps et impact sur la pollution atmosphérique à Sfax* [Doctorat]. Université Paris VII Paris, France, **351 pages**.

Fenech S., Aquilina N.J., 2020 : *Trends in ambient ozone, nitrogen dioxide, and particulate matter concentrations over the Maltese Islands and the corresponding health impacts*. Sci. Total Environ. **700**, 134527. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134527

He M.Z., Kinney P.L., Li T., Chen C., Sun Q., Ban J., Wang J., Liu S., Goldsmith J., Kioumourtzoglou M.A., 2020 : *Short- and intermediate-term exposure to NO_2 and mortality : A multi-county analysis in China*. Environ. Pollut. Barking Essex 1987 **261**, 114165. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114165

ICCT., 2019 : *Heath impacts of air pollution from transportation sources in paris*. The International Council on Clean Transportation, **3 pages**.

Insee., 2022 : *Dossier complet, Commune de Paris 13e Arrondissement (75113), Insee* (Statistiques et études).

Rapport 2022 du GIEC : *nouvelle alerte face au réchauffement du climat*, 2022.

Schwartz J., Fong K., Zanobetti A., 2018 : *A National Multicity Analysis of the Causal Effect of Local Pollution,*

WHO., 2018 : *WHO global air quality guidelines*. WHO: WHO European Centre for Environment and Health: Germany.

CONTAMINATION PAR LE POLONIUM 210 ET RISQUES CANCERIGENES DES CIGARETTES VENDUES EN COTE D'IVOIRE

Gouanda Thibaut BEA *[1, 2]; Koffi Sébastien OUFFOUE [1, 2]; Marcel Konan YAO [1]; Ossey Bernard YAPO [2, 3]

[1]*Laboratoire de Constitution et Réaction de la Matière (LCRM), Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Côte d'Ivoire*

[2]*Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL), Côte d'Ivoire*

[3]*Laboratoire des Sciences de l'Environnement, Université NANGUI Abrogoua, Côte d'Ivoire*

***Auteur correspondant : BEA Gouanda Thibaut, gouandathibautbea@yahoo.fr**

Résumé : *Cette étude a porté sur le niveau de contamination en polonium 210 (^{210}Po) de sept cigarettes appréciées par les fumeurs en Côte d'Ivoire. L'activité de ^{210}Po dans ces cigarettes a été déterminée selon une version modifiée et validée de la norme NF ISO 13161 par l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique. Les risques cancérigènes à vie liés à cet élément radioactif via ces cigarettes ont été évalués en fonction de la dose efficace annuelle par inhalation pour les fumeurs. Les activités de ^{210}Po dans ces cigarettes se situent entre 13,43±1,36 Bq/kg et 21,20±2,19 Bq/kg. Quant aux doses efficaces annuelles par inhalation pour les fumeurs, elles varient de 65,598 à 100,696 µSv/an. Les risques cancérigènes à vie dus à ces cigarettes sont donc très élevés.*

Mots- clés *: Cigarette, Côte d'Ivoire, Polonium 210, Risques cancérigènes.*

POLONIUM 210 CONTAMINATION AND CARCINOGENIC RISKS OF CIGARETTES SOLD IN IVORY COAST.

Abstract: *This study investigated the level of polonium-210 (^{210}Po) contamination in seven cigarettes popular with smokers in Côte d'Ivoire. The ^{210}Po activity in these cigarettes was determined according to a modified and validated version of the NF ISO 13161 standard by the International Atomic Energy Agency. The lifetime carcinogenic risks associated with this radioactive element in these cigarettes were assessed based on the annual effective inhalation dose for smokers. The ^{210}Po activities in these cigarettes range from 13.43±1.36 Bq/kg to 21.20±2.19 Bq/kg. The annual effective inhalation doses for smokers range from 65.598 to 100.696 µSv/year. The lifetime carcinogenic risks associated with these cigarettes are therefore very high.*

Key words: Carcinogenic risks, Cigarette, Ivory Coast, Polonium 210.

Introduction

Les particules alpha sont susceptibles d'interagir avec la matière vivante, telles que les cellules et l'ADN. Ainsi, elles peuvent être à l'origine de nombreuses pathologies, dont les cancers, les anomalies génétiques, ainsi que les maladies cardiovasculaires, respiratoires, digestives et génito-urinaires. Le polonium 210 (^{210}Po), l'une de ces particules, se trouve naturellement en abondance. Il présente des risques sanitaires élevés pour l'Homme à des concentrations relativement élevées (Bustamante et *al*., 2022). La forte présence de cet élément radioactif dans les feuilles de tabac amplifie ces risques, notamment en favorisant le développement de multiples formes de cancers. En effet, l'Homme est exposé au ^{210}Po via la fumée des cigarettes (Horváth et *al*., 2017). C'est dans ce contexte que la présente étude a été réalisée. Son objectif principal était d'évaluer les activités en ^{210}Po de sept marques de cigarettes manufacturées très populaires chez les fumeurs dans le district d'Abidjan. Les objectifs secondaires étaient d'évaluer l'activité de ce composé radioactif selon le fabricant et la qualité de la cigarette « duo, light et classique », ainsi que d'évaluer quelques de leur caractéristiques physiques et chimique (masse et humidité relative, leur activité journalière et les risques cancérigènes à vie qui en découle.

1. Matériel méthode

1.1. Collecte des échantillons

Cette étude a été réalisée sur la période de Juin à Août 2024. Elle a porté sur sept marques de cigarettes dominantes sur le marché des cigarettes manufacturées, à savoir : trois marques de la firme A (A1 (classique), A2 (light) et A3 (duo (à la fois classique et light)), deux marques de la firme B (B1 (classique), B2 (classique)), une marque de la firme C (C (classique) et une marque de la firme D (classique). 40 cigarettes de chaque marque ont été collectés chez plusieurs revendeurs différents (2 par revendeurs et de manière aléatoire) dans le district d'Abidjan pour une meilleure hétérogénéité des échantillons. Cette méthode visait à obtenir une meilleure estimation statistique de l'activité en ^{210}Po dans ces cigarettes.

1.2. Détermination des activités en ^{210}Po des différents échantillons

La détermination de l'activité en ^{210}Po de chaque échantillon de cigarette a été effectuée selon une norme validée par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique issus de la modification quelques peu de la norme NF ISO 13161 (2020). Pour chaque série d'analyses, un échantillon blanc (eau distillée) et un matériau de référence codé PT IAEA-TEL 2018-03 ont été utilisés pour valider les résultats.

Dans l'application de cette norme, chaque échantillon de tabac, débarrassé de son papier à rouler, a subi une minéralisation à chaud avec des acides concentrés (HCl (37 %), HNO_3 (65 %) et HF (20 %)), puis a été traité avec H_2O_2 (20 %) et de l'acide ascorbique pour éliminer les interférences. Par la suite, pour chaque série d'analyses, un échantillon blanc (eau distillée) et un matériau de référence codé PT IAEA-TEL 2018-03 ont été utilisés pour valider les résultats. Une masse moyenne de 0,88 ± 0,05 g de tabac de cigarette a été prélevée et tracée avec 300 µg d'une solution de ^{209}Po (0,188 ± 0,004 Bq/g). L'auto-déposition a été réalisée sur un disque de cuivre plongé dans la solution et laissé pendant 6 heures sur une plaque chauffante à 90°C sous agitation constante. Après 6 heures d'auto-déposition, le disque a été retiré, lavé à l'eau distillée et séché. Le disque a ensuite été analysé en le plaçant dans un détecteur alpha à barrière de surface en silicium pour le comptage. Les eaux et réactifs utilisés sont récupérés et éliminés par une procédure respectueuse de l'environnement.

L'activité en ^{210} Po de chaque échantillon et son incertitude ont été calculées comme suit :

$$\mathrm{Ae} = \frac{(\mathrm{Se}-\mathrm{SBdFe})\times \mathrm{mt}\times \mathrm{At}}{(\mathrm{St}-\mathrm{SBdFt})\times \mathrm{me}} \qquad (1)$$

$$\mathrm{i_A} = \mathrm{Ae}\sqrt{0{,}00023 + \frac{1}{\mathrm{Se}} + \frac{1}{\mathrm{St}} + \left(\frac{\mathrm{Et}}{\mathrm{AAt}}\right)^2} \qquad (2)$$

avec :

- A_e : Activité de l'échantillon (Bq/g) ;
- $\mathbf{i_A}$: incertitude sur l'activité ;
- A_t : Activité du traceur (Bq/g) ;
- S_e : Surface du pic du radioélément considéré contenu dans l'échantillon ;
- S_t : Surface du pic du traceur ;

S_{BdFe} : Surface du pic du bruit de fond corrigé par rapport au temps de comptage, correspondant à la plage d'énergie d'émission du radioélément de l'échantillon ;

- S_{BdFt} : Surface du pic du brut de fond corrigé par rapport au temps de comptage, correspondant à la plage d'énergie d'émission du traceur ;
- m_e : Masse d'échantillon (g) ;
- m_t: Masse du traceur (g) ;
- $\mathbf{E_t}$: Erreur sur l'activité actuelle du traceur ;
- $\mathbf{A_{At}}$: Activité actuelle du traceur

2. Résultats et discussion

2.1. Taux d'humidité, activités du ^{210}Po dans le tabac et Risque de cancer supplémentaire au cours de la vie

Le tabac de la cigarette D présente a priori la masse moyenne et le taux d'humidité moyen les plus faibles, tandis que la cigarette A1 affiche les valeurs les plus élevées en ces paramètres sur la période d'étude. Les tabacs des cigarettes des firmes A et B semblent avoir des masses et des taux d'humidité en moyenne plus élevés que ceux des firmes C et D. Pour la firme A, le tabac de la cigarette A1 a la masse et le taux d'humidité les plus élevés en moyenne, tandis que celui de la cigarette A2 a la masse moyenne la plus faible, et celui de la cigarette A3 le taux d'humidité moyen le plus faible. Pour la firme B, le tabac de la cigarette B1 présente la masse et le taux d'humidité les plus élevés en moyenne. L'ANOVA à un facteur a mis en évidence une différence statistique globale significative entre les masses et les taux d'humidité du tabac de ces marques de cigarettes ($p < 0,05$). Les tests post-hoc ont révélé des différences significatives entre les taux d'humidité moyens du tabac des cigarettes A1, C et D et celui des quatre autres cigarettes ($p < 0,05$). Il en va de même pour la différence entre le taux d'humidité moyen du tabac de la cigarette A3 et celui de la cigarette B1 ($p < 0,05$). Les tests ont également illustré des différences significatives entre les masses moyennes des tabacs des cigarettes B1 et D et ceux des cinq autres marques ($p < 0,05$). La différence entre la masse moyenne du tabac de la cigarette A1 et celle du tabac de la cigarette C a également été significative ($p < 0,05$), tout comme celle entre la masse du tabac de la cigarette B1 et celle du tabac de la cigarette B2 ($p < 0,05$). Ainsi, ces tests statistiques confirment que le tabac de la cigarette A1 a la masse moyenne et le taux d'humidité moyen les plus importants, tandis que celui de la cigarette D présente les plus faibles valeurs moyennes en ces paramètres. Les tabacs des cigarettes des firmes A et B ont des masses et des taux d'humidité plus importants que ceux des firmes C et D. Ces tests post-hoc ont également mis en lumière une différence non statistiquement significative entre la masse moyenne et le taux d'humidité du tabac de la cigarette A2 et ceux de la cigarette A3 ($p > 0,05$). Il en va de même pour les tabacs des cigarettes de la firme B ($p > 0,05$). Quant aux tabacs des cigarettes C et D, ils présentent des masses et des taux d'humidité moyens distincts ($p < 0,05$).

Le rapport taux d'humidité/masse de la cigarette B1 a été le plus faible, tandis que celui de la cigarette A2 a été le plus élevé. L'ANOVA à un facteur a révélé une différence statistique globale significative entre les moyennes de ces rapports ($p < 0,05$). Les tests post-hoc ont montré que seules les valeurs de ce rapport pour les cigarettes B1 et D sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

Ces résultats permettent de conclure que le tabac des marques de cigarettes A1, C et D est unique en son genre parmi les tabacs des cigarettes étudiés sur la base de leur masse moyenne et de leur taux d'humidité moyen. Dans la gamme des cigarettes de la firme A, le tabac de la cigarette A2 et celui de la cigarette A3 sont identiques sur cette base. Si les tabacs des cigarettes de la firme B présentent le même taux d'humidité, ils diffèrent néanmoins par leur masse. Le rapport taux d'humidité/masse semble être une constante pour tous ces tabacs, excepté entre ceux de B1 et D1.

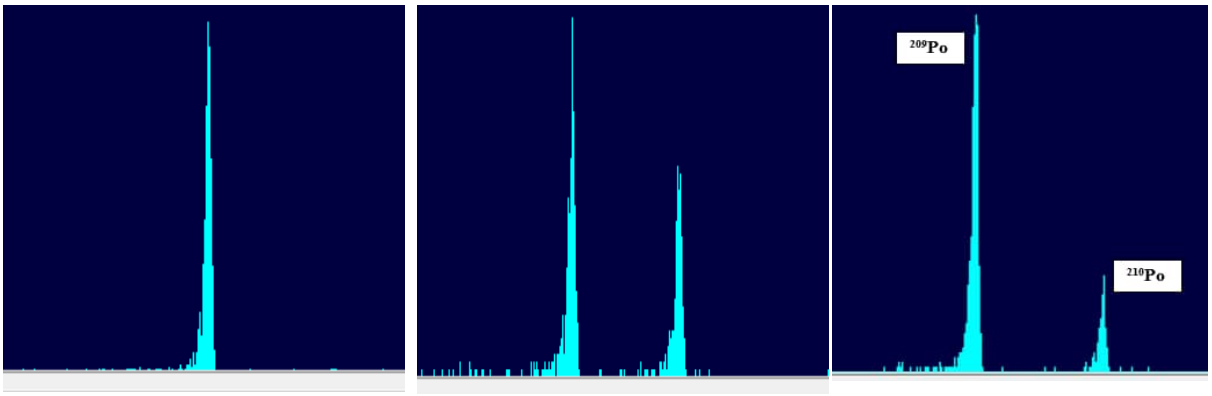
L'analyse des résultats des activités montre une importante activité de ^{210}Po par masse de tabac (Figure 1), à priori dans le tabac de la cigarette A3, mais faible dans celui de la cigarette C. L'ANOVA à un facteur met en lumière une différente statistique globale significative entre les valeurs moyennes de l'activité de ^{210}Po par masse dans les tabacs de ces cigarettes ($P < 0,05$).

En somme, les activités de ^{210}Po dans les tabacs des cigarettes A3, B1, B2 et D ont été les plus importantes et quasi-identiques.

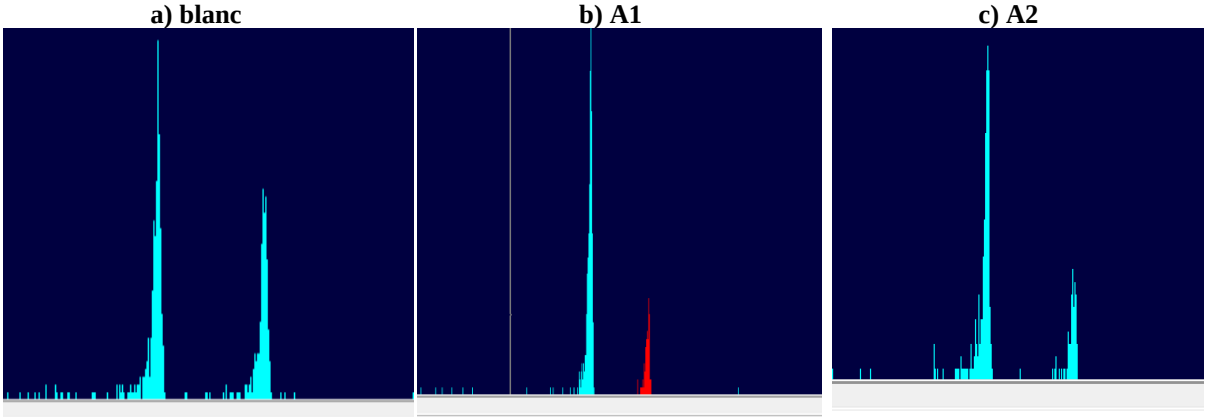
Le risque de cancer supplémentaire au cours de la vie a été évalué par la dose efficace annuelle par inhalation pour les fumeurs à partir des activités journalières et par cigarette du ^{210}Po sur une vingtaine d'année, tel recommandé par l'AEA. À l'instar de l'activité de ^{210}Po par masse de tabac, les activités de ^{210}Po journalières et par paquet de cigarette, de même la dose efficace journalière, ont été statistiquement très importantes dans les tabacs des cigarettes A3, B1, B2 et D, mais faible dans le tabac de la cigarette C (Tableau 3).

Tableau 3. Dose efficace annuelle par inhalation pour les fumeurs

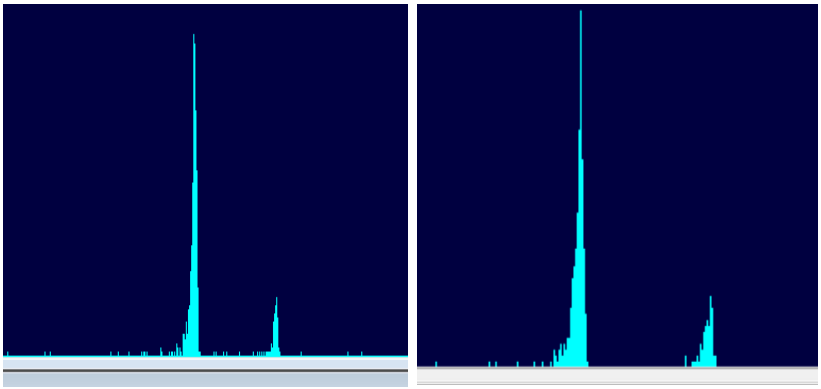
	Firme A			Firme B		Firme C	Firme D
	A1	A2	A3	B1	B2	C	D
Masse moyenne (g)	0,075±0,003	0,054±0,003	0,056±0,008	0,096±0,006	0,065±0,005	0,042±0,002	0,010±0,002
Taux d'humidité moyenne (%)	11,94±0,08	9,67±0,22	9,15±0,05	9,95±0,06	9,51±0,05	5,9±0,06	1,77±0,02
Taux d'humidité par g (%/g)	159,2	179,07	163,39	103,65	146,31	140,48	177
Dose efficace annuelle (µSv/ an)	95,396	79,497	100,6962	90,0966	84,797	63,598	95,3964



a) blanc **b) A1** **c) A2**



c) A3 **d) B1** **e) B2**



f) C **g) D**

Figure 1. Spectres d'émission alpha du traceur ^{209}Po pour le blanc (a), relativement au blanc pour les marques A1 (b), A2 (c), A3 (d), B1 (e), B2, C(f) et D (g).

Les importantes activités de ^{210}Po dans le tabac de ces cigarettes illustrent de leur provenance dans une zone où l'adsorption de radon est notable à partir du sol et/ou les engrais riches en phosphates sont utilisés dans leur culture (Flores et *al*., 2015). La quasi-totalité du tabac utilisé dans la fabrication des cigarettes en Côte d'Ivoire est importée. Les conséquences d'un tel état de fait sont les hauts risques cancérigènes pour l'Homme liés au ^{210}Po dans ces cigarettes. Ces hauts risques cancérigènes s'accompagnent d'anomalies génétiques, ainsi que de maladies cardiovasculaires, respiratoires, digestives et génito-urinaires (Schmidt, 2019). L'importation de la cigarette C explique la faible activité de ^{210}Po dans son tabac et ses faibles risques cancérigènes liés à cet élément radioactif.

4. Conclusion

Cette étude a permis de révéler d'importantes activités de ^{210}Po dans les cigarettes vendues en Côte d'Ivoire, ponctué par de hauts risques sanitaires pour l'Homme. Ce constat doit conduire les autorités compétentes à vérifier de façon stricte les cigarettes vendues sur le marché et à mettre en œuvre une législation plus efficace pour la protection de la population relativement à cet élément radioactif dans le tabac. Cette étude ouvre un bon nombre de perspectives, dont la détermination des teneurs en métaux de ces cigarettes et des risques associés.

Remerciements

Nous remercions le Laboratoire Central de l'Environnement (LCE) du Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL) pour son appui lors de la réalisation de ce travail. Nous disons un infini merci à l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) Vienne de son aide dans le cadre de la réalisation de ce travail.

Bibliographie

Bustamante P., Guillen- Arruebarruena A., Lacoue- Labarthe T., Chouvelon T., Spitz J., Warnau M. et Hernandez C.M.A., 2023: Variation of 210-polonium in the cephalopod community from the Bay of Biscay, North-East Atlantic. *Journal of Environmental Radioactivity*, 268- 269: 107265. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2023.107265.

Flores O. B., Estrada A. M., Caballero A. B. et Bone O. F., 2015 : *Polonium-210 concentration of cigarettes traded in Cuba and their estimated dose contribution due to smoking*. Proceedings of the XV Workshop on Nuclear Physics and IX International Symposium on Nuclear and Related Techniques WONP-NURT'2015, February 9-13, 2015, Havana, Cuba.

Horváth M., Ipbüker C., Hegedűs M., Kovács T., Tkaczyk A.H. (**2017**). Development of measurement system for adsorption of long-lived radon decay products on the leaf surface of tobacco plants. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,* **313**, 391- 400. doi.org/10.1007/s10967-017-5327-6

NF ISO 13161., 2020: *Qualité de l'eau - Polonium 210 - Méthode d'essai par spectrométrie alpha*. Boutique AFNOR, France, 30 pages.

Schmidt T.R., Schuch L.F., Schorr J.L., Stelter G.O., Zigmundo G.De O., Bischoff R.M. et Martins M.D., 2023: Lip contact stomatitis associated with electronic cigarettes: Case report, oral surgey, oral medicine, oral pathology and oral radiology, **136** (1): e60. doi.org/10.1016/j.oooo.2023.03.196.

EVOLUTION DES VAGUE DE FROID DE FORTE INTENSITE ET CIRCULATION ATMOSPHERIQUE AU MAROC SEPTENTRIONAL

Aissam BOUAICHE [1], Hind FATTAH [1], Nidal LOTFI [1] & Mohammed Said KARROUK [1]

[1]*Université Hassan II, Département de Géographie, Laboratoire des Changements Environnementaux et Aménagement Territorial (LCEAT), Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Ben M'Sick – Casablanca, Maroc. E-mail : BOUAICHE.Aissam.UH2.Lceat@gmail.com*

[2]*Université Mohamed V, Dpt. Géographie, Laboratoire d'études et de recherches "Sociétés, Territoires, Histoire et patrimoine (STHP)", FLSH Rabat, Maroc. E-mail: h.fattah@um5r.ac.ma*

Résumé : *Le nord du Maroc connaît des conditions météorologiques extrêmes depuis les années 1980. En janvier et février 2025, et plus particulièrement en décembre, le Maroc a été plongé dans une vague de froid souvent comparable à celles de janvier 2005 et 1985. L'intensité de ces aléas climatiques a eu un impact négatif sur la gestion du territoire et la vie économique et sociale. La période comprise entre le 28 décembre 2024 et le 2 janvier 2025 a été marquée par d'importantes chutes de neige dans plusieurs régions montagneuses du Maroc, accompagnées d'une vague de froid intense et d'averses orageuses. Cette contribution propose d'étudier l'intensité et la fréquence des vagues de froid à l'aide d'une grille de seuils de froid prenant en compte les températures maximales diurnes (TX) et minimales nocturnes (TN). Pour cette étude, nous utilisons les données de températures maximales et minimales journalières de plusieurs stations représentatives du nord du Maroc.*

Mots clés : *fréquence, intensité, vague de froid, nord du Maroc, Maroc*

Abstract: Evolution of high-intensity cold waves and atmospheric circulation in northern Morocco. *Northern Morocco has been experiencing extreme weather conditions since the 1980s. In January and February of 2025, particularly in December, Morocco was plunged into a cold snap often comparable to those of January 2005 and 1985. The intensity of these climatic hazards had a negative impact on land management and economic and social life. The period between 28 December 2024 and 2 January 2025 was marked by significant snowfalls in several mountainous regions of Morocco, accompanied by a wave of intense cold and thundery showers. This contribution proposes to study the intensity and frequency of cold spells using a grid of cold thresholds that takes into account both daytime maximum (TX) and night-time minimum (TN) temperatures. For this study, we use daily maximum and minimum temperature data from several representative stations in northern Morocco.*

Key words: *frequency, intensity, cold snap, northern Morocco, Morocco*

Introduction

L'analyse de l'évolution des vagues de froid de forte intensité en lien avec la circulation atmosphérique représente un enjeu majeur pour le Maroc septentrional. Ce phénomène, bien que traditionnellement observé en d'hiver, semble devenir plus complexe et imprévisible en raison des changements climatiques qui affectent le pays. En particulier, les vagues de froid intenses peuvent provoquer des baisses de températures soudaines, influençant non seulement les conditions météorologiques locales, mais aussi la santé publique, l'agriculture et les infrastructures (GIEC, 2023).

Selon des études plus récentes, le Maroc septentrional, avec ses régions montagneuses et côtières, est particulièrement vulnérable aux variations de la circulation atmosphérique avec l'avènement des vagues de froid plus ou moins intenses. L'étude de ces phénomènes pour l'année 2025, marquée par des chutes de neige significatives dans plusieurs régions montagneuses du Maroc, ainsi que par une vague de froid intense et des averses orageuses, offre une meilleure compréhension de la dynamique des vagues de froid. Elle permet également d'analyser leur fréquence croissante et les mécanismes de circulation atmosphérique qui les

sous-tendent. Les perturbations de l'anticyclone de l'Açore ou les invasions d'air polaire, par exemple, peuvent expliquer ces épisodes de froid extrême qui affectent principalement les zones urbaines et rurales (Khomsi, 2014).

Selon GIEC (2013), les vagues de froid font partie des extrêmes climatiques les plus préoccupants au regard de la vulnérabilité de nos sociétés et de l'évolution attendue de leur fréquence et leur intensité au XXIème siècle. Dans ce contexte une vague de froid correspond à une baisse marquée des températures ou à l'arrivée d'un air extrêmement froid sur une vaste région, pouvant durer de quelques jours à plusieurs semaines (OMM, 2000). En plus de leurs impacts sur la santé, ces épisodes climatiques influencent divers secteurs économiques, notamment les transports, l'énergie et l'agriculture.

La prise en compte de la circulation atmosphérique et de ses influences sur les vagues de froid s'avère donc cruciale pour anticiper et minimiser les risques associés à ce phénomène sur le territoire marocain. Le présent travail se propose d'étudier la fréquence et évolution des vagues de froid, selon une grille des seuils absolus, qui convient au contexte des pays s méditerranéens en 2025. Il cherche également à déceler les tendances de ces vagues afin de percevoir la réalité des changements climatiques dans la région. Les mécanismes de la circulation atmosphérique générant les vagues de froid seront aussi appréhendés, ainsi que les tendances des hauteurs du géopotentiel 500 hPa, qui est le niveau de référence de toute étude climatique au nord-ouest de l'Afrique, lequel se trouve dans une zone d'abri météorologique, touché par des perturbations atlantiques (Traboulsi, 2010).

1. Situation, données et Méthodes proposées

1.1. Présentation du Maroc septentrional

La zone étudiée s'étend sur plus de 335000 km² environ, entre 36° et 30° Nord, 10° à 1° Ouest (fig. 1).

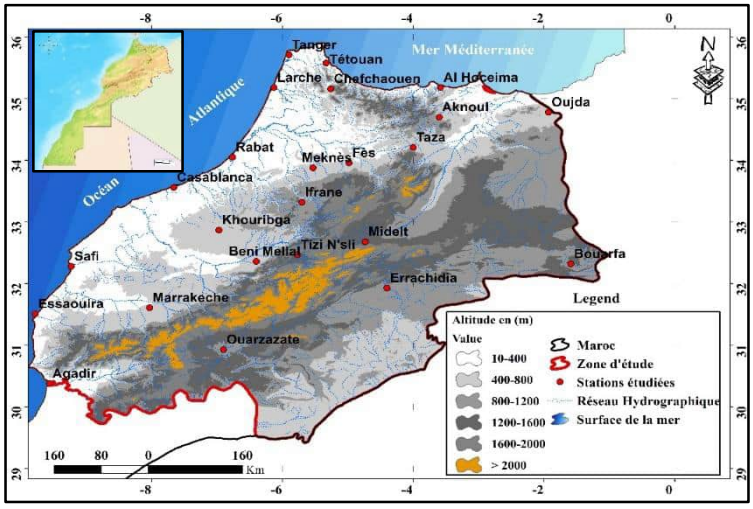


Figure 1. Carte simplifiée du Maroc septentrional et localisation des stations étudiée

C'est une vaste région de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale, avec deux façades maritimes, l'une sur l'océan atlantique et l'autre sur la mer Méditerranée. A l'intérieur, elle est dominée par des chaines de Montagnes : Rif, Moyen Atlas, Haut Atlas (3000 à 4000 m) et Anti-Atlas, étalées sur un axe orienté NE-SO qui subdivise la zone d'étude en deux parties : une partie, à l'ouest et au nord des reliefs, qui subit les influences des perturbations nord

Atlantiques et une partie orientale et anti-Atlasique ou les influences du sud-est dominent (Sebbar et al, 2012). Le climat est typiquement méditerranéen sur le littoral avec un hiver doux (9 à 12 °C) et modérément arrosé, doublé d'un été chaud et sec (24 à 26 °C). Dans les reliefs de l'arrière-pays, les précipitations peuvent atteindre un maximum de plus de 1500 mm/ an par an avec de la neige et des températures fraîches en hiver.

1.2. Source des données

Les données utilisées sont les températures moyennes. Les séries des données obtenues sont : les températures mensuelles moyennes (Tm), les températures minimales moyennes (Tn) et les températures maximales moyennes (Tx) fournies par la direction Générale de la Météorologie (DGM). Pour l'étude de la circulation atmosphérique, notre étude est fondée sur une analyse des cartes météorologiques marocaines et européennes au niveau de référence de 500 hPa. Ces cartes sont disponibles sur plusieurs sites web notamment : www.wetterzentarale.de & www.wetter3.de

1.3. Méthodologie de l'étude

Huit stations météorologiques d'expositions variées, bien répartie sur l'ensemble du territoire de la zone d'étude (Maroc septentrional) et représentatives des principaux topo-climats de la région, ont été sélectionnées. Alors la méthodologie utilisée consiste à classer les vagues de froid en fonction d'un certain nombre de paramètres (tab. 2). Nous avons essayé de donner une définition de la vague de froid géographiquement spécifique au Maroc. Nous définissons ainsi la vague de froid comme étant une période durant laquelle la température minimale journalière est restée inférieure à −2 °C au moins 3 jours consécutifs et durant laquelle le minimum de cette période est descendu au moins deux fois sous la barre de −6 °C (Ben Boubaker H. 2010 & Azzi et al. 2015).

Tableau 1. Les données géographiques des stations retenues

Station	Range	Long. (D D)	Lat. (D D)	Alt. (m)	Janvier (°C) 2025		Février (°C) 2025		Régions
					TN	TX	TN	TX	
Tanger	1	-5.90	35.73	21	***11***	***18.5***	***10.9***	***18***	Atlantique Nord
Casablanca	2	-7.67	33.57	62	***14***	***20***	***12***	***19.6***	
Fès	3	-5.00	34.02	415	***4.8***	***17.2***	***5.6***	***17.9***	Montagneuse
Taza	4	-4.02	34.21	521	***5 .1***	***18***	***6.3***	***18.5***	
Marrakech	5	-8.03	31. 61	474	***3.6***	***21***	***5.1***	***21***	Centre
Agadir	6	-9.56	30.30	23	***11***	***22***	***10***	***23***	Atlantique Sud
Oujda	7	-1.93	34.78	470	***6.4***	***18.2***	***7.2***	***19***	Orientale
Ouarzazate	8	-6.90	30.93	1136	***2.9***	***18***	***4***	***20***	Sub-Saharienne

Source : Direction Générale de la Météorologie (DGM)

Tableau 2. Les paramètres pris en compte pour la classification des vagues de froid au Maroc septentrional

Date :	Date de début et de fin de la vague de froid
Durée :	Le nombre de jours de la vague de froid
Poids total (en degrés-jours) :	La méthode consiste d'abord à calculer les degrés-jours (DJ) quotidiens selon l'équation suivante : (Tx – y en °C) + (Tn – y en °C). Ensuite, la somme des degrés-jours de chaque épisode incluant au moins un jour de froid permet de déduire son poids.
Intensité froid/j. (If/j, en °C/j)	Ce poids, divisé par le nombre de jours de l'épisode donne l'intensité du froid du jour j.
Température minimale (TN) :	Température minimale absolue enregistrée durant cette vague de froid

Source : https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/181

2. Résultats et discussions

2.1. Le classement des vagues de froid pour l'année 2025 au Maroc septentrional

Les données présentées dans le tableau 3 indiquent que le mois de janvier 2025 a connu, dans la ville de Fès, l'épisode de froid le plus persistant de la dernière décennie, avec un poids thermique cumulé de 37 °C durant la période du 1er au 7 janvier 2025. Dans la ville de Taza, un épisode notable a également été enregistré, avec un poids thermique total de 32 °C entre le 14 et le 16 janvier 2025. Les températures minimales nocturnes quant à elles, étaient comprises entre -1,4°C et 4,6°C, contre 6,5°C à 12,7 °C pour les maximales diurnes dans les deux stations.

La ville de Fès a enregistré l'épisode de froid le plus intense, en termes de valeurs journalières. L'indice « If » moyen a atteint 5,2°C/j au cours de l'épisode du 01 au 07 janvier 2025. Quant à la station de Tanger au atlantique nord du Maroc, elle a également enregistré une vague de froid plus intense au cours du mois de février avec un moyen de 7,8°C mais pour l'épisode du 13 au 14 février 2025 (tab. 3). Le climat thermique du Maroc est généralement préservé des grands froids. Même les journées très froides, par rapport au climat moyen, restent un phénomène rare, en particulier dans le nord du pays. Ainsi, les vagues de froid sont considérées comme un risque climatique mineur, bien moins préoccupant que les épisodes de fortes chaleurs.

Tableau 3. Caractéristiques des principales vagues de froid au niveau des stations étudiées au Maroc septentrional pour l'année 2025

Station	Date de l'épisode				Poids total (en degrés-jours)		Intensité froid/j. (If/j, en °C/j)	
	Janvier 2025	Durée (jours)	Février 2025	Durée (jours)	Janvier 2025	Février 2025	Janvier 2025	Février 2025
Tanger	15 au 20/1/25	**5**	13 au 14/2/25	**2**	12.5 °C	24 °C	4.4 °C	7.8 °C
Casablanca	14 au 16/1/25	**3**	1 au 4/02/25	**4**	11.8 °C	23.4 °C	3.9 °C	5.8 °C
Fès	1 au 07/01/25	**7**	1 au 07/2/25	**7**	37 °C	24.4°C	5.2 °C	3.4°C
Marrakech	14 au 20/1/25	**4**	1 au 6/02/25	**6**	16.2 °C	12 °C	4.0 °C	4 °C
Agadir	16 au 19/1/25	**4**	01 au 03/2/25	**3**	10.7 °C	20.4 °C	2.9 °C	4.8 °C
Taza	14 au 16/1/25	**4**	6 au 7/02/25	**2**	32 °C	21.4°C	4.2 °C	2.4°C
Oujda	13 au 16/1/25	**7**	05 au 07/2/25	**2**	11.3°C	10.8 °C	3.7°C	3.6 °C
Ouarzazate	15 au 18/1/25	**4**	01 au 03/2/25	**3**	13.6 °C	19.9 °C	3.4 °C	6.3 °C

2.2. L'analyse des températures minimales absolues

L'analyse de l'évolution des températures minimales quotidiennes sur la période allant du 1976 au 2025 dans deux stations représentatives au Maroc septentrional l'un à l'oriental (Oujda) et l'autre au sub-saharienne (Ouarzazate), nous fait ressortir clairement quarts épisodes distincts. La station de Oujda à totalisé 17 jours pour lesquels les températures minimales absolues ont affiché des valeurs inférieures à −2◦C avec un minimum de −8 ◦C pour la journée du 19/01/2015 (fig. 2). En outre, la station de Ouarzazate, elle a totalisé 19 jours où les températures minimales absolues ont affichés des valeurs inférieures à −2◦C avec un minimum de −6◦C dans la journée du 18/12/2005.

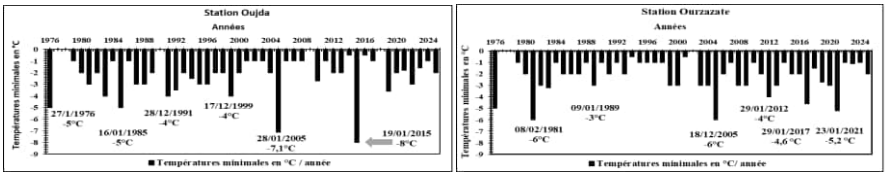


Figure 2. Températures minimales quotidiennes à la station de Oujda (à gauche) et Ouarzazate (à droit) pour la période 1976-2025.

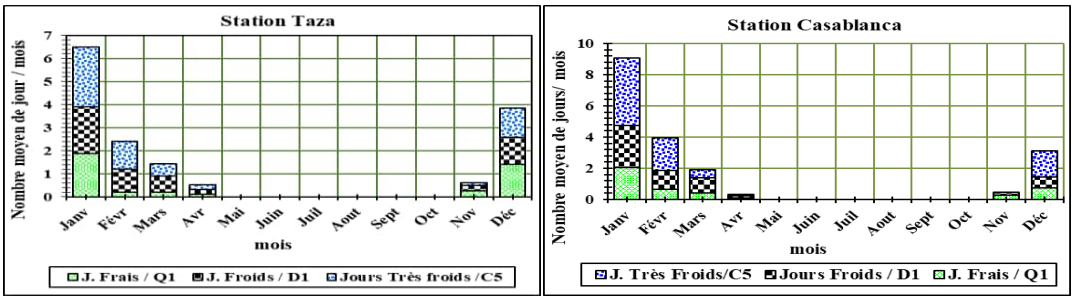


Figure 3. Fréquence moyenne mensuelle de jours froids pour les deux stations au Maroc septentrional (Taza à gauche) et (Casablanca à droit) pour la période 1976-2025.

À l'échelle saisonnière, les stations de Taza et Casablanca enregistrent une fréquence moyenne mensuelle de jours froids. Le risque d'occurrence des vagues de froid est particulièrement élevé au milieu et à la fin de l'hiver dans la plupart des stations étudiées du Maroc septentrional. Les mois de décembre, janvier et février affichent le plus grand nombre de jours très froids ainsi que de jours froids (fig. 3). Cependant, de tels épisodes peuvent également survenir en dehors de l'hiver, soit précocement en novembre, soit tardivement en mars. Dans ces cas, leur caractère inhabituel et imprévu les rend particulièrement redoutés en raison de leurs effets sur le confort et la santé de la population. Par ailleurs, ces épisodes froids sont plus fréquents en hiver qu'en printemps et en automne, une saison relativement plus froide.

2.3. Aspect climatique des vagues de froid au Maroc septentrional durant l'année 2025

A partir du premier janvier 2025 un froid marqué sur plusieurs régions du Maroc. En effet, les matinées et les nuits seront particulièrement froides, avec des gelées sur l'Atlas, le Sud-Est, le Rif et le Sud de l'Oriental. Les températures minimales oscilleront entre -8°C et 1°C dans ces zones. Ailleurs, les températures resteront plus clémentes, entre 6°C et 16°C (fig. 4). Entre le 28 décembre et le 2 janvier 2025, les chutes de neige notables ont été enregistrées dans les régions montagneuses du Maroc, notamment à Tinghir, les sommets de Msmrir, Ighil Nou Mgnoun et Ait Hani ont accumulé jusqu'à 30 cm de neige.

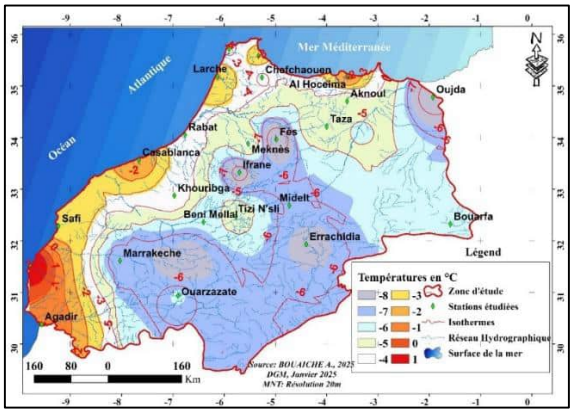


Figure 4. Répartition spatiale des températures minimales absolues du mois de janvier 2025 dans la zone d'étude

2.4. Analyse de la situation synoptique et isobarique de janvier 2025 au Maroc

L'analyse des cartes représentées (fig. 5 & 6), montre que la Maroc est balayée par la marge du font polaire surmonté par le courant jet d'altitude qui prendre une position méridionale avec de forte ondulation permettant les échanges énergétiques entre la zone polaire déficitaire et la zone tropicale excédentaire.

Une importante décharge polaire s'est effectuée vers l'Est du Maroc. D'où le creusement d'un fort minimum barométrique centré sur la mer méditerranéenne supportés en altitude par une goutte froide (-15°C) au sein d'une ondulation méridienne vers le sud du jet subtropical. Cette dépression a provoqué des chutes de neiges (entre 15 et 30 cm) dans les provinces d'Al Hoceima, Guercif, Taourirt, Figuig, Jerada, Boulemane, Sefrou, Ifrane, Taza et Midelt.

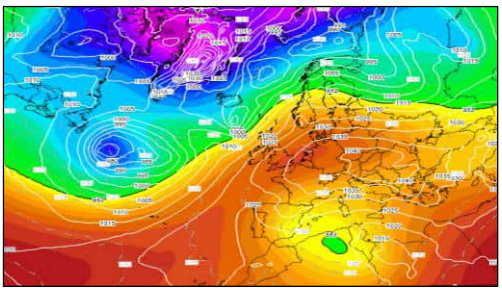


Figure 5. Situation synoptique à 500 hPa du 17/01/2025 à 0h TU. (Source : www.wetterzentrale.de)

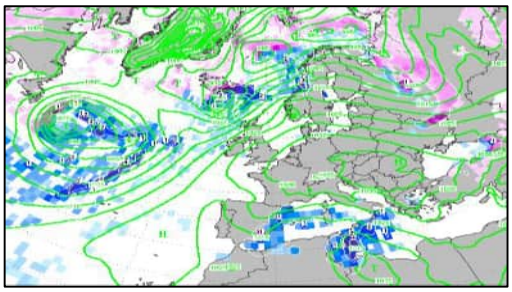


Figure 6. Situation isobarique au sol du 17/01/2025 à 0h TU. (Source : www.wetter3.de)

Conclusion

Cette étude révèle des tendances climatiques significatives des vagues de froid au Maroc septentrional, liées aux configurations atmosphériques (dépressions polaires et hautes pressions subtropicales). La variabilité interannuelle et l'influence de la NAO jouent un rôle clé dans leur occurrence.

Les résultats offrent des outils pour anticiper ces phénomènes et évaluer leurs impacts dans un contexte de changement climatique. Des recherches supplémentaires, incluant des modélisations et l'analyse des forçages atmosphériques, permettraient d'affiner les prévisions.

Bibliographie

Azzi A., Medjerab A., 2015 : *Les signes météorologiques extrêmes, signes d'un éventuel changement climatique : cas des vagues de froid sur le nord de l'Algérie*. Jama, Vol. 2, 12-15, 2018.

Ben Boubaker, H., 2010 : *Les paroxysmes de chaleur et de froid dans la ville de Tunis : étude de cas extrêmes*, Revue Tunisienne de Géographie, 41, accepté.

Sebbar, A., 2012 : *Etude de la variabilité du régime pluviométrique au Maroc septentrional (1935 2004),* Revue Sècheresse, 139-148 pages, 11 pages.

Traboulsi, M., 2010 : *Les fortes chaleurs au Proche-Orient et leurs relations avec la circulation atmosphérique régionale. Etude des tendances indicatrices des changements climatiques*. XXIIIe colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes, p.p. 625-630.

Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat., 2013 : changements climatiques 2013, Les éléments scientifiques.

Khomsi K ., 2014 : *variabilité hydro-climatique dans les bassins versants du Bouregreg et du Tensift au Maroc : moyennes, extrêmes et projections climatiques*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences Rabat. Université Mohamed V rabat. 218 pages.

www.wetterzentrale.de et www.wetter3.de : source des cartes météorologiques

CONTRAINTES BIOCLIMATIQUES ET IMPACTS SUR LA SANTE PHYSIQUE ET PSYCHIQUE DES POPULATIONS DU DOMAINE SOUDANIEN DU BENIN

Adjéré Darius CHABI, Sourou Henri TOTIN VODOUNON

Laboratoire de Climatologie et EThnoclimatologie (Labo ClimET-UP), Université de Parakou, Parakou, Bénin, chabidarius@gmail.com ; totinsourouhv@gmail.com

Résumé : *L'action combinée des éléments météorologiques perturbe l'homéostasie et l'immunité du corps. Cette recherche s'intéresse aux effets physiologiques et mentaux du climat. Les données de précipitations, températures, humidité relative, vitesse du vent, pression atmosphérique, tension de vapeur, utilisées sont celles des stations synoptiques de Parakou et de Kandi de 1975 à 2019. L'ACP a servi à synthétiser les indices THI, K, I, H et RSI, Tvap et l'AFC avec le test de Khi² pour l'interrelation climat-psychologie. Le temps chaud inconfortable (-137,2 Kcal/m²/h en mars et -145,1 Kcal/m²/h en avril), déclenche les syncopes thermiques selon 70 % des enquêtés. L'harmattan induit l'anxiété chez 62 % des populations. En outre, le temps humide engendre les sentiments d'inquiétudes (50 % des populations). Les populations doivent s'hydrater surtout en période de chaleur, porter des vêtements chauds par temps frais (harmattan et pluie).*

Mots clés : *Bénin, bioclimat, physiologie humaine.*

Abstract : *The combined action of the weather elements disrupts the body's homeostasis and immunity. This research looks at the physiological and mental effects of climate. Data on precipitation, temperature relative humidity, wind speed, atmospheric pressure and vapour pressure are those from the Parakou and Kandi synoptic stations from 1975 to 2019. THE PCA was used to synthesise the THI, K, I, H and RSI, Tvap indices and the CFA with the Chi2 test for the climate-psychology interrelation. Hot weather uncomfortable (-137.2 Kcal/m2/h in March and -145.1 Kcal/m2/h in April), triggering thermal syncope according to 70% of respondents. In harmattan, 62% of people feel anxious. In addition, wet weather generates feelings of anxiety (50% of respondents). People need to stay hydrated, especially in hot weather, and wear warm clothes in cooler weather (harmattan and rain).*

Keywords : *Benin, bioclimate, human physiology.*

Introduction

Les événements météorologiques perturbent parfois la santé physique et psychologique de millions de personnes (OMS et OMM, 2012, p. 4), provoquant une mortalité et une morbidité élevées (F. K. Médéou, 2015, p. 13 ; OMS, 2024). Le climat peut induire de nombreuses pathologies dites dyscrasiques, en d'autres termes dues aux diverses modifications métaboliques (INRS, 2020, p. 7 ; A. D. Chabi, 2022, p. 7).

Au Bénin, dans le contexte bioclimatique du domaine soudanien marqué par la continentalité et une élévation des températures, la thermolyse est le processus thermorégulateur le plus déclenché dans l'organisme des populations. Ce qui favorise une perte en eau, une déficience en sel et des pathologies afférentes comme la fatigue, les crampes, les pertes de connaissance, les maux de tête (A. D. Chabi, 2022, p. 68) et d'autres affections pathologiques.

Le domaine soudanien, exclu le domaine du climat atacorien, couvre une superficie de 80 274,1 km² et représente environ 70 % du territoire national (114 763 km²). Il est délimité au nord par le fleuve Niger aux confins de la région sahélienne du Niger et le climat de transition guinéen subéquatorial au sud (figure 1). Le régime pluviométrique moyen mensuel est unimodal avec en août un maxima des pluies de 214 ±104,3 mm et 264,5 ±115,3 mm respectivement à Parakou et à Kandi. La température moyenne oscille entre 25,1 ±0,9 °C en août et 30,3 ±1,7 °C en mars à Parakou et entre 25,2 ±2,4 °C en janvier et 32,8 ±2,3 ° C en avril à Kandi. L'humidité relative moyenne à Parakou et Kandi oscille respectivement entre 34 ±17,2 % (janvier) et 26 ±20,2 % (février) pour les minima et entre 81 ±17,1 % et 80 ±20,7 % en août pour les maxima.

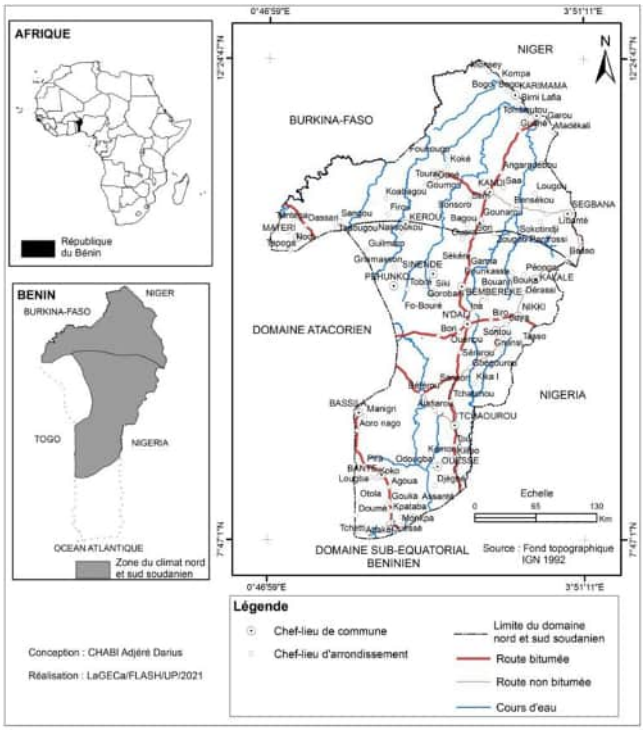


Figure 1 : Localisation géographique du domaine soudanien du Bénin

Il est la plus grande zone dans la mosaïque climatique du Bénin, caractérisé par l'alternance d'une saison pluvieuse (mai à octobre) et d'une saison sèche (novembre à avril). Son extension en latitude introduit deux nuances climatiques : le climat tropical humide et le climat tropical sec, au contact du domaine du climat sahélien (S. H. Totin Vodounon *et al.,* 2018, p. 337).

L'objectif de cette recherche est d'étudier les implications climatiques sur la physiologie et la psychologie (bien-être, malaises, comportements et maladies) des populations en fonction des types de temps.

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les relevés mensuels de pluies, températures, humidité relative, vitesse du vent, pression atmosphérique, tension de vapeur sur la période 1975 à 2019 des stations synoptiques de Parakou et Kandi sont utilisés. De plus, les données socio-anthropologiques ont permis d'apprécier les répercussions psychologiques des conditions climatiques et des stratégies d'adaptation.

1.2. Méthodes d'analyse des contraintes bioclimatiques

Les contraintes auxquelles l'organisme humain est confronté sont déterminées à l'aide des indices bioclimatiques de confort thermique (THI, K, I, H, RSI) (tableau 1) et de confort respiratoire (Tvap). Pour synthétiser les ambiances bioclimatiques, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été appliquée aux valeurs obtenues pour ces indices. Cette approche multivariée a facilité l'interprétation des résultats sous forme d'une représentation synthétique. L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) avec le test d'indépendance de Khi^2 a permis de décrire les liens entre les types de temps et les effets psychologiques évoqués par les populations. Ils portent sur les affections et troubles de santé dus au climat et vus sous l'angle des perceptions, comportements et stratégies de protection de la santé développées par les populations. Ce test appliqué par C. S. Houssou (1998, p. 33) pour mesurer le degré de liaison entre les paramètres climatiques et les pathologies, a permis de vérifier si l'association observée entre les types de temps et les effets psychologiques est statistiquement indépendante ou non. L'hypothèse nulle (H_0) postule que les variables aléatoires (v.a) sont indépendantes et l'hypothèse alternative (H_1) suppose une dépendance entre elles. H_0 est rejetée si $\chi^2 \geq \chi^2_{(k-1)(m-1)}$; α, ce qui signifie que la statistique est plus grande que le point critique de niveau α d'une loi Khi^2 à (k - 1) (m - 1) degrés de liberté. Ce rejet implique l'existence d'un lien significatif entre les types de temps et les effets psychologiques concernés.

Tableau 1. Nom, données, formule mathématique et grille d'interprétation des indices calculés. Légende : < : Inférieur ; ≤ : Inférieur ou égal ; > : Supérieur ; ≥ : Supérieur ou égal

Nom de l'indice	Données utilisées	Equations	Echelles d'intéprétation
Indice thermo-hygrométrique **(**THI) en °C, mis au point par Thom en 1959	T (°C) : température ambiante ; U% : humidité relative ; 14,5 : température idéale confortable où l'homme n'a ni chaud ni froid	THI = T - [(0,55 – 0,0055 U%) (T - 14,5)]	- THI ≤ 15 : ambiance inconfortable par le froid -15 ≤ THI ≤ 20 : confortable - 20 ≤ THI > 30 : Ambiance thermique chaude inconfortable
Pouvoir réfrigérant de l'air (K) en Kcal/h/m², élaboré par Siple et Passel en 1945	V ($m.s^{-1}$) : vitesse du vent ; T (°C) : température ambiante	$K= (10,45 + 10\sqrt{V}-V) (33-T)$	- K < 0 : ambiance torride inconfortable - 0 ≤ K ≤ 300 : ambiance chaude inconfortable - 300 ≤ K ≤ 600 : confortable - K > 600 : ambiance froide hypertonique inconfortable
Enthalpie de l'air (I) en kcal/kg	T (°C) : température de l'air ; P (mmHg) : pression atmosphérique ; U (hPa) : tension de vapeur	I= 0,24 T + 0,622 / (P-U) (0,26 T + 595) U	- 2,5 ≤ I ≤ 7,5 : ambiance froide inconfortable - 7,5 ≤ I ≤ 11 : confortable - 11 ≤ I ≤ 31 : Ambiance très chaude inconfortable
Humidex (H) en °C, développé en 1979 par J. M. Masterton et F. A. Richardson du service météorologique canadien	e (hPa) : tension de vapeur d'air ; Ta (°C) : température de l'air; Td (K) : température du point de rosée	$H = Ta + 0,5555 * [6,11 \exp [5417,7530 (\frac{1}{273,16} - \frac{1}{Td})] - 10]$	- H < 19 : inconfortable, sensation de frais ou de froid - 20 ≤ H ≤ 29 : confortable - H ≥ 30 : inconfortable, coup de chaleur
Relative Strain Index (RSI), sans unité	Ta (°C) : température de l'air ; e (hPa) : pression de vapeur d'eau ; RH (%) : humidité relative	RSI = $(Ta - 21) / (58 - e)$ Avec : $e = \frac{RH}{100} \times 6.112 \times 10^{7.5 \times \frac{t_a}{237.7+t_a}}$	-RSI < 0,15 : ambiance inconfortable -0,15 ≤ RSI ≥ 0,45 : sensation chaude, inconfortable

Source : *Extrait des travaux de M. Boko (1988, p. 147) ; C. S. Houssou (1998, p. 174) ; A. Vlãdut (2016, p. 117) ; A. D. Chabi (2022, p. 32)*

2. Résultats et discussions

2.1. Réponses physiologiques humaines aux contraintes bioclimatiques

Les conditions climatiques influencent la physiologie humaine en générant des contraintes bioclimatiques (confort et inconfort) évaluées par les indices bioclimatiques (figure 2).

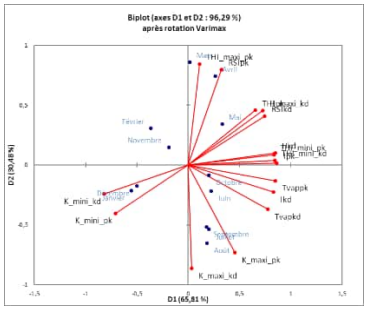


Figure 2 : Plan factoriel et de saturation D1 x D2 des contraintes bioclimatiques dans le domaine soudanien
Source des données : *Météo Bénin*

Légende : THI_maxi_pk = Indice thermo-hygrométrique aux heures du maximum thermique, station de Parakou ; Tvapkd = Tension de vapeur, station de Kandi ; K_maxi_pk = Pouvoir réfrigérant de l'air aux heures du maximum thermique, Parakou ; Ikd= Enthalpie de l'air, Kandi ; RSIpk=Contrainte relative, Parakou ; Hkd= Humidex, Kandi.

Les mois de mars, avril et mai, présentent des ambiances inconfortables surtout aux heures du maximum thermique. Cette période est aussi marquée par l'occurrence des pathologies liées à la chaleur (méningite, céphalées, vertige, perte de connaissance, crampes, fatigue), selon plus de 60 % des enquêtés. Pour CCE (2017, p. 25), l'exposition à de fortes températures peut occasionner la baisse du tonus musculaire, la déshydratation par une sudation excessive et une déficience en sel. Elle engendre aussi la diminution du volume de l'urine, la difficulté d'irrigation du cerveau, les accidents vasculaires cérébraux et la mort. Selon G. Savourey *et al.* (2003, p. 4), une augmentation du débit sanguin et une transpiration excessive peuvent réduire les capacités cognitives et physiques des populations. Ce qui pousse 90 % des enquêtés à s'abriter sous les arbres pour protéger l'organisme du surchauffe (photo 1a), à recourir aux habits à microclimat vestimentaire chaud ou à utiliser des dispositifs traditionnels de chauffage (petit feu de bois) (photo 1b) pendant l'harmattan.


a

b

Photo 1 : Techniques traditionnelles de maintien de l'équilibre thermique du corps en situation de chaleur (Parakou) (a) et de froid (b) (N'dali)

Prise de vues : *Chabi A. D., décembre et mars 2022*

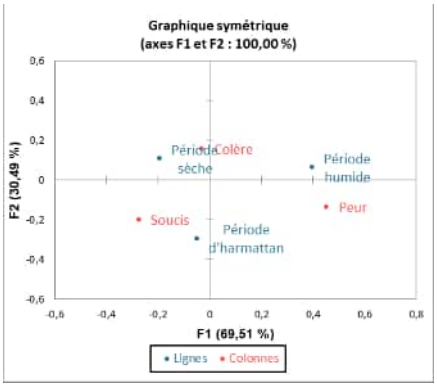
En temps de forte chaleur (mars à avril) marqué par les températures maximales extrêmes (37 °C en mars et 39,2 °C en avril respectivement à Parakou et Kandi), la brise rafraîchissante générée par les arbres (photo 1a), offre un microclimat aux populations. Elle favorise les pertes thermiques au niveau cutané par les mécanismes de convection (évacuation de la chaleur de la peau vers l'air ambiant) et d'évaporation (transformation de la sueur en vapeur d'eau). Ces échanges hydriques entre la peau et l'environnement sont facilités par la porosité de la peau (M. Le Guay, 2015, p. 5), permettent d'abaisser sa température et de maintenir l'homéothermie du corps (37 °C). En situation d'hypothermie (température centrale du corps < 37 °C), induite par la température du milieu ambiant (16 °C en décembre), plus de 60 % des populations frileuses (sensibles au froid) créent un microclimat artificiel (photo 1b). Cette source externe de chaleur réchauffe la peau en complément aux processus thermorégulateurs de production de chaleur interne. Pour B. Moujalled (2007, p. 26) ; M. Le Guay (2015, p. 5), l'organisme accroît sa

production de chaleur interne par des contractions musculaires (frissons). Les vaisseaux sanguins se contractent et la vasoconstriction périphérique réduit le flux sanguin pour limiter les pertes de chaleur et préserver les organes vitaux, en particulier le cerveau.

Les difficultés d'adaptation physiologique peuvent aussi survenir sur la période de juillet à septembre (humidité relative maximale supérieure à 90 %), ce qui réduit l'évaporation de la sueur et perturbe la régulation du corps. L'air saturé en humidité provoque une sensation d'oppression thoracique d'étouffement chez 55 % interviewés. Ces contraintes imposées par l'action simultanée des éléments météorologiques à l'organisme humain perturbent l'activité des réajustements homéostatiques. A un stade ultérieur (après des répétitions multiples sans succès du mécanisme homéostatique), l'immunité de l'organisme s'affaiblit, favorisant l'activation du microorganisme ou virus commensal normalement latent et inoffensif, qui devient alors responsable du déclenchement de la maladie. Par exemple, un brusque refroidissement des pieds peut déclencher le rhume ou la bronchite si l'agent causal était déjà latent (J. P. Besancenot, 1987, p. 391 ; A. D. Chabi et S. H. Totin Vodounon, 2018, p. 316). Toutes ces conditions bioclimatiques influent sur le mental des populations.

2.3. Etat psychologique des populations face aux vicissitudes climatiques

Le climat agit sur le mental ou le psychisme de l'homme (figure 3).



Khi² (Valeur observée)	24,516
DDL	4
p-value	< 0,0001
Alpha	0,05
Khi² (Valeur critique)	9,487

H0 : les types de temps et les effets psychologiques sont indépendants.
Ha : il existe un lien entre les types de temps et les effets psychologiques.

Figure 3 : Effets du climat sur le mental des populations du domaine climatique soudanien
Source des données : *Résultats des enquêtes de terrain, octobre 2020 à juillet 2021*

L'AFC montre qu'il existe un lien entre le climat et la psychologie des populations [Khi^2 observé (24,516) > Khi^2 critique (9,487) ; p-value < 0,05]. Les matrices des Cos^2 indiquent que la peur et les soucis prédominent fortement pendant les temps humide et sec. En effet, en temps chaud, les ambiances bioclimatiques très éprouvantes du fait de l'intensité de la chaleur et de la durée de l'ensoleillement (M. Boko, 1988, p. 54 ; F. K. Médéou, 2015, p. 190), perturbent le sommeil, déclenchent les syncopes thermiques selon 70 % des enquêtés. Elle$s engendrent des troubles dépressifs (90 % des enquêtés). A l'opposé, la colère n'est pas assez importante pendant l'harmattan.

Le temps de chaleur est perçu comme le plus désagréable (C. S. Houssou, 1998, p. 294) psychologiquement pour environ 50 % des répondants du fait de la prévalence des maladies liées à la chaleur (méningite, céphalées, syncopes, fatigue, bourbouilles…). Selon ces enquêtés, la chaleur réduit l'efficacité dans l'exécution des tâches, contraint à dormir hors habitation ou à créer des microclimats artificiels au moyen des systèmes de convection forcée (ventilateurs). Le temps humide est déplaisant pour environ 30 % des enquêtés à cause de la prolifération des moustiques vecteurs du paludisme, l'environnement humide et boueux, des dégâts matériels

dus aux pluies diluviennes... Près de 65 % des enquêtés estiment que la siccité de l'air et la poussière atmosphérique déclenchent les maladies dermatologiques, respiratoires et celles liées au froid (asthme, douleurs articulaires…).

Conclusion

Le climat détermine les contraintes thermiques (confort et inconfort) et psychologiques (anxiété, trouble du sommeil, irritabilité…) des populations. La thermolyse est le processus thermorégulateur le plus déclenché dans l'organisme des populations et survient par temps chaud. Lorsque la sollicitation devient trop violente ou répétitive du fait des ambiances thermiques inconfortables, les mécanismes homéostatiques s'affaiblissent et l'état morbide apparaît. Par ailleurs, le temps d'harmattan est le plus apprécié des populations et la période de forte chaleur la plus déplorée au regard des sensations inconfortables et de malaises psychologiques.

Bibliographie

Besancenot Jean-Pierre, 1987 : Les bioclimats humains en façade méditerranéenne de l'Europe, Etude géographique des effets physiologiques, psychiques et pathologiques d'une ambiance climatique, CRC, Université de Bourgogne, Dijon, France 2 tomes, 751 p.

Boko Michel, 1988 : *Climats et communautés rurales du Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement,* Thèse de Doctorat d'Etat ès Lettres, Université de Bourgogne, Vol I et II, Dijon, UA 909, CNRS, France, 607 p.

Commission de Coopération Environnementale, 2017 : Guide sur la surveillance syndromique des effets de la chaleur sur la santé, Montréal, Canada, 48 p.

Chabi Adjéré Darius, 2022 : *Déterminants écoclimatiques de la prévalence des maladies météorosensibles dans le domaine soudanien du Bénin,* Mémoire de Master Climat, Eau et Développement des milieux Tropicaux (MCEDeT), IGATE, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 84 p.

Chabi Adjéré Darius, Totin Vodounon Sourou Henri, 2018 : Ambiances bioclimatiques et santé des populations dans la ville de Parakou, *Actes du 31e Colloque de l'Association internationale de climatologie*, Nice, France, pp. 313-318.

Houssou Christophe Sègbè, 1998 : *Les bioclimats humains de l'Atacora (Nord-Ouest du Bénin) et leurs implications socio-économiques,* Thèse de Doctorat de Géographie, Université de Bourgogne, Dijon, France, 332 p.

Institut National de Recherche et de Sécurité, 2020 : Travail à la chaleur, Santé et sécurité au travail, inrs.fr/risques/chaleur, Consulté le 30 janvier 2025 à 14h.

Le Guay Michel, 2015 : Confort et Ambiance, EFB, 14 p.

Médéou Fidèle Kouassi, 2015 : *Ambiances bioclimatiques et changements climatiques dans le département des collines au Bénin : Vulnérabilité socio-sanitaire et performance des agriculteurs,* Thèse de Doctorat, UAC, Cotonou, Bénin, 229 p.

Moujalled Bassam, 2007 : *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés,* Thèse de Doctorat, Institut des Sciences Appliquées de Lyon, France, 330 p.

Organisation Mondiale de la Santé et Organisation Météorologique Mondiale, 2012 : Atlas de la santé et du climat : améliorer la santé grâce aux possibilités offertes par les services climatologiques, 66 p.

Organisation Mondiale de la Santé OMS, 2024 : Changement climatique et impact sur la santé en Afrique, 10 p.

Savourey Gustave, Launay Jean-Claude, Melin Bruno, 2003 : Physiopathologie et prévention des troubles liés à l'exposition à la chaleur ou au froid, *adsp* **45**, pp. 4-9.

Totin Vodounon Sourou Henri, Chabi Adjéré Darius, Amoussou Ernest, Houssou Christophe Sègbè, Boko Michel, 2018 : Ambiances bioclimatiques et santé des populations dans le domaine subsoudanien au Bénin, *Actes du 31e Colloque de l'association internationale de climatologie*, Nice, France, pp. 337-342.

Vlădut Alina, 2016 : Thermal comfort within Oltenia Plain, *Studii și communicări. Științele Naturii,* pp. 115-121.

DE LA MESURE A LA CONSTRUCTION DE CARTE DE QUALITÉ DE L'AIR PAR LA MODÉLISATION A BASE D'AGENTS : L'EXEMPLE DE COTONOU

Loïc DAVID[1], Nicolas MARILLEAU[2], Médard AGBAYAZON[3], Francis BOKOSSA[4], Richard LALOU[5], Nadège MARTINY[6]

1 UMMISCO - IRD/SU, Bondy, France - loic.david@ird.fr
2 UMMISCO - IRD/SU, Bondy, France - nicolas.marilleau@ird.fr
3 Blolab - Cotonou, Bénin - medard@blolab.org
4 Blolab / UMMISCO - IRD, - Cotonou, Bénin - francis.bokossa@ird.fr
5 MERIT - IRD/ Paris Cité, Paris, France - richard.lalou@ird.fr
6 BioGeoscience - Université de Bourgogne, Dijon, France - nadege.allegri-Martiny@u-bourgogne.fr

Résumé : *La pollution est un problème majeur de santé publique au niveau mondial. D'après une estimation de l'OMS en 2024, plus de 8 millions de décès prématurés seraient attribuables à la pollution de l'air. De plus, très peu de dispositifs permettent de surveiller la qualité de l'air sur ce continent, rendant ainsi les pouvoirs publics aveugles sur les risques sanitaires liés à la pollution de l'air. En s'appuyant sur un réseau de micro-stations environnementales déployé sur la ville de Cotonou, ce travail vise à produire des cartes dynamiques de la pollution aux particules fines dans la ville en utilisant un modèle multi-agent. L'objectif est ici de simuler en particulier l'exposition à la pollution d'enfants se rendant à l'école. Le modèle conçu, bien que préliminaire, montre un aperçu de sa capacité à conseiller les politiques d'aménagement urbain et de santé publique.*

Mots-clés*: multi-agent, qualité de l'air, pollution, Cotonou*

Abstract : From measurement to air quality map construction using agent-based modeling : the example of Cotonou. *Pollution is a major global public health problem. According to a WHO estimate, more than 8 million premature deaths could be attributable to air pollution in 2024. Furthermore, very few systems are available to monitor air quality on this continent, thus blinding public authorities to the health risks associated with air pollution. Using a network of micro-environmental stations deployed in the city of Cotonou, this work aims to produce dynamic maps of fine particle pollution in the city using a multi-agent model. The objective here is to simulate, in particular, the exposure to pollution of children going to school. The model developed, although preliminary, provides insight into its potential to inform urban planning and public health policies.*

Keywords: *multi-agent, air quality, pollution, Cotonou*

Introduction

Depuis le début de la Révolution industrielle, au milieu du XVIIIe siècle, la densité de population humaine n'a cessé d'augmenter dans les villes à travers le monde. Cette évolution a été rendue possible en grande partie par les avancées technologiques et le développement des infrastructures urbaines, qui ont permis d'améliorer la production industrielle, les réseaux de transport, rendant les zones urbaines plus accessibles, plus attractives, et plus faciles à approvisionner en matière première et ressources vitales. Ainsi, selon l'Organisation des Nations Unies (2018)[1] c'est près de 54 % de la population mondiale qui vivrait aujourd'hui en zone urbaine, et les estimations projettent ce nombre à 66 % en 2050.

Bien que l'organisation actuelle des villes offre de nombreux avantages à ses habitants, certaines externalités qui en résultent, telle que la pollution atmosphérique, ont été identifiées comme étant négatives et nocives pour la santé humaine. En effet, les activités industrielles, les transports, la combustion des déchets, mais également l'utilisation de combustibles fossiles pour le chauffage et la cuisine entraînent un rejet de polluants atmosphériques, parmi lesquels figurent les particules fines (PM), les oxydes d'azote, ou encore le monoxyde de carbone. Dans

le cas de la pollution aux particules fines, les activités humaines n'en sont pas la source exclusive, puisque les tempêtes de sable et de poussière minérales en augmentent fortement la concentration dans les pays du Sahel et les pays côtiers d'Afrique de l'Ouest. L'Organisation Mondiale de la Santé (2022)[2] a établi des seuils à partir desquels une atmosphère serait malsaine pour sa population (5 $\mu g/m^3$ en moyenne annuelle). Il s'avère que 40 % (2,8 milliards de personnes) de la population mondiale est exposée à des niveaux de pollution de l'air jugés dangereux pour la santé humaine, et cette pollution atmosphérique est responsable de 4.2 millions de morts prématurés dans le monde sur l'année 2019. Les particules fines, en particulier, seraient à l'origine de cancers, de maladies cardiovasculaires et respiratoires. A l'horizon 2030, le problème sera encore accentué par les économies à revenus faibles et intermédiaires. L'Afrique pourrait alors être à l'origine de la moitié des émissions mondiales des polluants gazeux et particulaires (Liousse *et al.,* 2014)[3]. Dans ce contexte, l'Afrique est aussi confrontée au manque d'infrastructures permettant de surveiller les niveaux de pollution atmosphérique et de données permettant d'évaluer l'impact de cette pollution sur la santé humaine.

Pour répondre à ce défi, nous avons (i) déployé, dans la ville de Cotonou (Bénin), un réseau de micro-stations environnementales de qualité de l'air QameleO, et (ii) spatialisé les données ponctuelles produites, en utilisant la modélisation multi-agents. En se focalisant sur les éléments individuels actifs d'un système, cette approche de modélisation est particulièrement efficace pour représenter des systèmes complexes et les phénomènes émergents qui s'y déroulent.

La modélisation multi-agent ouvre de nouvelles perspectives pour, d'une part, la production de cartes de qualité de l'air dans un contexte où la donnée est rare et multifactorielle (mobilité des hommes, voirie, couvert végétale etc.), et d'autre part pour aider à la décision des acteurs locaux et nationaux, désormais en mesure d'expérimenter *in silico* de nouvelles politiques d'aménagements du territoire.

Dans le cadre de cet article, nous développons l'état de nos avancées scientifiques à Cotonou : avec, dans un premier temps, le déploiement du réseau de micro-stations environnementales QameleO pour la production de données, dans un second temps, la proposition d'un modèle multi-agent intégrant des données multifactorielles, et pour finir, une discussion sur les cartes de qualité de l'air produites.

2. Matériel-Méthodes

2.1. Le réseau de micro-stations environnementales

Les micro-stations environnementales Qameleo ont été utilisées pour mesurer les concentrations atmosphériques en particules fines. Ces stations de mesures de qualité de l'air sont le fruit d'une collaboration entre l'UMR BIOGEOSCIENCES de l'université de Bourgogne à Dijon et l'UMI UMMISCO de l'Institut de recherche pour le développement. Elles permettent de mesurer différentes tailles de particules fines (PM_{10}, $PM_{2.5}$, PM_1) mais également des paramètres météorologiques (température, humidité) pouvant influencer la pollution.

Le réseau de micro-stations a été déployé à Cotonou à partir du même protocole que le réseau QameleON à Dijon (Martiny *et al.* 2023)[4]. Les sites d'installation sont sélectionnés selon un indice d'implantation, déterminé à partir de la proximité aux sources de pollution (trafic routier, secteurs résidentiels, industriels), selon la densité de population, et selon la topographie locale

(idéalement, les sites devraient être à une même altitude). Toutes les micro-stations sont implantées à 3 mètres de hauteur et avec une même exposition solaire. Ainsi, 25 capteurs ont été installés dans des écoles et sur la voirie (Figure 1). Des mesures horaires ont été effectuées par ces capteurs entre le 1er juillet 2023 à 6h, et le 10 février 2024 à 6h.

2.2. Modélisation de la pollution

Les données horaires du réseau de micro-stations environnementales ont été intégrées dans une modélisation multi-agent réalisée sur la plateforme GAMA. Le modèle intègre différentes données open source comme la couverture du réseau routier, des bâtiments, de la végétation, ainsi que la direction du vent. Cela permet de représenter spatialement la disposition des micro-stations et des mesures qui leur sont associées (PM, Humidité, température), mais aussi de pouvoir intégrer au modèle des interactions entre la pollution et l'environnement urbain.

Ces données ont été utilisées pour interpoler la pollution en tout point de la ville, en vue de produire des cartes représentant l'évolution de qualité de l'air de Cotonou au cours du temps. Pour cela, la ville a été découpée en cellules carrées de 200 mètres de côté. L'interpolation a consisté à calculer la concentration atmosphérique en particules fines dans chaque case du quadrillage en se basant sur leur distance aux 4 micro-stations les plus proches. La concentration a été obtenue en pondérant les valeurs des concentrations de PM mesurés par les micro-stations en fonction de leur distance à la case à interpoler [1] :

$$PM_{2.5} = \frac{\sum_{i=1}^{4} P_i * (1 - \frac{D_i}{D_{tot}})}{\sum_{i=1}^{4} 1 - \frac{D_i}{D_{tot}}} \qquad [1]$$

Avec P_i la pollution en $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) au capteur i ; D_i la distance séparant la case du capteur i ; D_{tot} la somme des distance de la case à chaque capteur.

Ensuite, l'effet supposé des paramètres environnementaux sur cette concentration a été pris en compte. Tout d'abord, il a été considéré que la présence de végétation aurait un effet de diminution de la concentration en particules fines (Sierra-Porta *et al*., 2023)[5], et que la présence de bâtiment influencerait les flux d'air, et par extension la vitesse de propagation des particules fines et leur stagnation entre les bâtiments (Pan & Ji, 2024)[6]. De plus, la proximité d'une case à un axe routier tendrait à augmenter sa concentration en particules fines pendant les horaires d'affluence. L'orientation du vent aurait également une influence sur la propagation de la pollution. Ces effets ont été pris en compte lors de l'interpolation selon l'équation [2] suivante :

$$Pm_{2.5} = \frac{\sum_{i=1}^{4} P_i * (1 - \frac{D_i}{D_{tot}}) * \frac{bat_i}{bat_{tot}} * (1 - \frac{\gamma_i}{\gamma_{tot}}) + \lambda_i}{\sum_{i=1}^{4} (1 - \frac{D_i}{D_{tot}}) * \frac{bat_i}{bat_{tot}} * (1 - \frac{\gamma_i}{\gamma_{tot}})} \qquad [2]$$

Avec P_i la pollution en $PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$) au capteur i ; D_i la distance séparant la case du capteur i ; D_{tot} la somme des distance de la case à chaque capteur ; bat_i le coefficient de rugosité à la pollution que provoque les bâtiments entre la case à interpoler et le capteur i ; bat_{tot} la somme des bat_i ; λ_i le paramètre de modification de la concentration induite par la proximité des routes et la présence de végétation ; γ_i l'angle entre la position du capteur et la direction d'origine du vent par rapport à la case à interpoler ; γ_{tot} la somme des γ_i .

Le paramètre λ_i a été calculé à partir du nombre d'axes routiers et de la surface de végétation situés entre le capteur et la cellule à interpoler. La contribution relative de ces paramètres environnementaux a été définie de manière arbitraire.

L'angle □□ a été calculé de la façon suivante [3]:

$$\square_{\square} = |(\square_{\square} - \square) \square\square\square\ 360 - 180| \quad [3]$$

Avec □ᵢ l'angle horaire entre le nord et le capteur i à partir de la case à interpoler ; □ l'angle horaire entre le nord et la direction du vent.

La représentation spatiale de la pollution de Cotonou a été effectuée en normalisant les concentrations de pollution selon la méthode de normalisation min-max, et en projetant ces valeurs sur une carte de la ville. Cette approche permet de représenter visuellement les différents modèles produits en ramenant leurs valeurs à une échelle commune (entre 0 et 1), permettant ainsi de comparer la répartition relative de la pollution.

2.3. Modélisation de la population

La modélisation multi-agent a permis de simuler le trajet d'écoliers se déplaçant chaque jour de leur domicile à l'école, en choisissant l'école la plus proche parmi 117 identifiées dans la ville. Ces agents "écoliers" ont été placés aléatoirement sur la ville de Cotonou, et celle-ci a été découpée en 4 zones "Nord-Est", "Nord-Ouest", "Sud-Est" et "Sud-Ouest" (figure 1C). L'exposition relative des populations a ensuite été calculée en additionnant les concentrations de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) estimées sur chaque cellule traversée par l'agent pendant son trajet, et en divisant ce résultat par le nombre de cellules traversées. Les concentrations de $PM_{2.5}$ estimées proviennent du modèle dont l'interpolation se base sur la distance [1].

3. Résultats et Discussion

La figure 1A montre une carte de la pollution interpolée de l'ensemble du territoire de Cotonou à la date du 1 juillet 2023 à 14h. Elle montre que les indices de pollution aux $PM_{2.5}$ sont répartis de façon hétérogène, avec des valeurs plus élevées à l'Ouest et à l'Est. La figure 1B montre également une répartition hétérogène de la pollution, mais cette fois avec des valeurs faibles dans des zones fortement végétalisées, et inversement dans les zones fortement urbanisées (cf. figure 1C). En comparaison avec la figure 1A, cela illustre la capacité de la simulation à prendre en compte les paramètres environnementaux dans le calcul d'interpolation de la pollution.

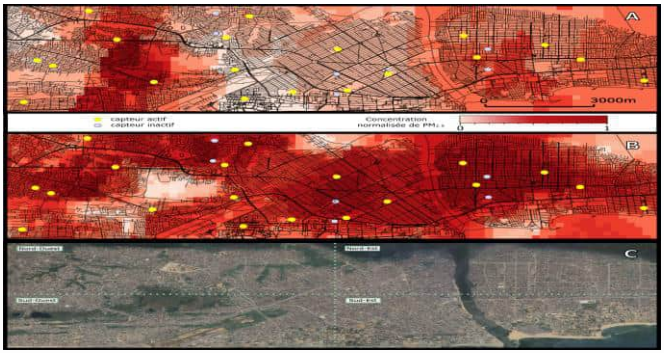


Figure 1. Comparaison visuelle (A) du modèle d'interpolation de la pollution en $PM_{2.5}$ prenant en compte la distance, (B) du modèle d'interpolation de la pollution en $PM_{2.5}$ prenant en compte la distance, le pourcentage de couverture végétale et en bâtiments, le vent et les axes routiers et (C) une image satellite du territoire de Cotonou

avec la délimitation des zones utilisées pour produire la figure 2. Les valeurs de pollution ont été normalisées (min-max) pour être comparables entre modèles, et ont été capturées au même instant (t = 10) de la simulation (rouge foncé : pollution élevée (=1) ; rouge clair : pollution faible (=0)). Les images sont issues de la plateforme de simulation GAMA. Les points jaunes et gris représentent les emplacements des micro-stations environnementales QameleO.

L'utilisation d'une carte de pollution dynamique au sein d'un modèle multi-agent a aussi permis d'estimer l'exposition relative des habitants à la pollution. La figure 2 montre une dynamique temporelle similaire entre les 4 zones délimitées, mais les individus de la zone "Sud-Est" semblent plus impactés que les autres.

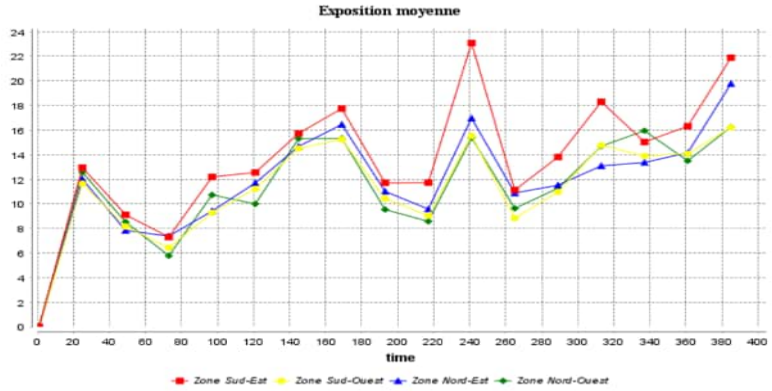


Figure 2. Exposition relative aux $pm_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) des écoliers estimée toutes les 24h entre le 1er et le 17 juillet 2023, en fonction de sa localisation sur la carte, selon la simulation. L'axe vertical représente la concentration moyenne ($\mu g/m^3$) à laquelle a été exposé un écolier pendant 24h. L'axe horizontal représente le temps en heure écoulé dans la simulation. Les points en abscisse 0 correspondent au début de la simulation (t=0 ; 1er Juillet 2023 à 6h), et ne sont donc pas à prendre en compte.

Ces résultats sont à considérer comme une esquisse des possibilités qu'offre le couplage du réseau de micro-stations environnementales QameleO et la modélisation multi-agent sur la plateforme GAMA, notamment sur la spatialisation de la pollution en environnement urbain tel que la ville de Cotonou. En incluant des paramètres environnementaux tels que la couverture végétale et son effet de diminution sur la concentration en particule fine, il devient possible, à partir de la simulation, de tester différents scénarios d'aménagement urbain et d'étudier leur effet sur la pollution de l'air. Les autres paramètres, tels que la surface recouverte par les bâtiments, la direction du vent, ainsi que le trafic routier sont des éléments pertinents à prendre en compte pour rendre l'interpolation plus précise, mais il pourrait également être possible de les modifier pour tester divers scénarios climatiques ou d'aménagement.

Une grande partie de l'amélioration du modèle réside dans la validation du modèle et des simulations qui en sont issues. L'optimisation des paramètres liés au trafic routier pourrait bénéficier de l'utilisation de modèles physiques tels que ADMS-Urban. Un autre modèle comme CHIMERE simulant le transport des particules selon la météorologie et l'aménagement urbain pourrait bénéficier à la simulation multi-agent. L'utilisation de réseau de neurones convolutif et/ou récurrent pourrait également permettre de capturer les dépendances spatiales et temporelles de la pollution et des variables environnementales, et ce à moindre coût computationnel. Ces pistes seront abordées plus en profondeur dans la suite de ce projet afin de proposer un système de veille opérationnel pour la gestion de la pollution et le soutien aux aménagements urbains.

Conclusion

En conclusion, cette étude a montré la faisabilité technique et le potentiel de l'utilisation de la modélisation multi-agent couplée à un réseau de capteurs pour cartographier les dynamiques de la qualité de l'air dans un environnement urbain comme Cotonou. Les résultats obtenus, bien que préliminaires, montrent que cette approche peut fournir des informations précieuses sur les concentrations de particules fines auxquelles la population est exposée. Il s'agit maintenant de valider les résultats de ce modèle par le biais d'autres mesures de PM indépendantes de celles intégrées aujourd'hui dans le modèle construit. Ensuite, en optimisant l'intégration des paramètres environnementaux et de leur effet sur la pollution dans le modèle, il serait possible de simuler des scénarios d'aménagement urbain et d'évaluer leur impact sur la pollution atmosphérique.

Bibliographie

Organisation mondiale de la Santé**.** (2024). *Ambient (outdoor) air quality and health*.

Repéré le 13 mars 2025 à https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

Nations Unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population. (2018). *World Urbanization Prospects*.

Repéré le 13 mars 2025 à https://population.un.org/wup/

Liousse, C., Assamoi, E., Criqui, P., Granier, C., & Rosset, R. (2014). Explosive growth in African combustion emissions from 2005 to 2030. *Environmental Research Letters*, ***9***(3), 035003. https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/035003

Martiny, N., Marilleau, N., Marion, S., Diallo-Dudek, J., Canovas, L., Bisquerra, A., Rega, M., & Thevenin, T. (2023). Quality of Air Module for Environmental Learning Engineering and Observation Network (QameleON-Dijon) : Un réseau dense de mesures de la qualité de l'air à Dijon - Article de synthèse publié à l'issue d'une présentation orale lors de la table ronde organisée le 12 mai 2022 à Dijon. *Climatologie*, ***20***, 4.https://doi.org/10.1051/climat/202320004

Sierra-Porta, D., Solano-Correa, Y. T., Tarazona-Alvarado, M., & de Villavicencio, L. A. N. (2023). Linking PM10 and PM2.5 Pollution Concentration through Tree Coverage in Urban Areas. *CLEAN – Soil, Air, Water*, ***51***(5), 2200222. https://doi.org/10.1002/clen.202200222

Pan, J., & Ji, J. (2024). Influence of Building Height Variation on Air Pollution Dispersion in Different Wind Directions : A Numerical Simulation Study. *Applied Sciences*, ***14***(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/app14030979

VAGUES DE CHALEUR ET PERCEPTION PUBLIQUES DANS LA VILLE D'ABIDJAN COTE D'IVOIRE

Iba Dieudonné DELY [1], Yao Etienne KOUAKOU [2], Madina DOUMBIA [3], Abdoulaye TALL [4], Brama KONE [5], Matthieu CHERSICH [6], Stanley LUCHTERS [7], Guéladio CISSE [8]

1-Université Peleforo Gon Coulibaly/ centre suisse de recherche scientifique, iba.dely@csr.ci ; 2-Université Nangui Abrogoua / centre suisse de recherche scientifique, etienne.kouakou@csrs.c ; 3-Université Peleforo Gon Coulibaly/ centre suisse de recherche scientifique, madina.doumbia@csrs.ci ; 4-Centre suisse de recherche scientifique, abdoulaye.tall@csrs.ci ; 5-Witwatersrand University, Johannesburg, South Africa, brama.kone@csrs.ci ; 6-Center for Sexual Health and HIV/AIDS Research, Harare, Zimbabwe, matthew.chersich@tcd.ie ; 7-Swiss Tropical and Public Health Institute, Allschwil, Switzerland, stanley.luchters@ceshhar.co.zw ; 8- University of Basel, Basel, Switzerland, gueladio.cisse@csrs.ci

Résumé : *L'Afrique subsaharienne, très exposée aux risques sanitaires liés à la chaleur, manque d'études sur les perceptions locales. Cette recherche analyse celles des habitants d'Abidjan face aux vagues de chaleur. Les données thermiques révèlent une hausse significative de leur fréquence et intensité depuis 2012. Une enquête menée auprès des ménages montre une perception majoritairement négative, avec un inconfort thermique accru, surtout en journée. Les résultats soulignent l'urgence d'adapter les politiques publiques à ces enjeux climatiques et sanitaires.*

Mots-clés : *Chaleur, médias sociaux, vague de chaleur, Abidjan*

Abstract: ***Heat waves and public perception in the city of Abidjan, Côte D'ivoire.*** *Sub-Saharan Africa, highly exposed to heat-related health risks, lacks studies on local perceptions. This research analyzes the perceptions of Abidjan residents regarding heat waves. Thermal data reveals a significant increase in their frequency and intensity since 2012. A household survey shows a predominantly negative perception, with increased thermal discomfort, especially during the day. The results highlight the urgent need to adapt public policies to these climate and health issues.*

Key words: *Heat, social media, heatwave, Abidjan*

Introduction

Le GIEC (2021) prévoit une hausse des températures mondiales de 1,5°C dès 2030, aggravant les événements extrêmes comme les vagues de chaleur (Gamet, 2020). L'Afrique, particulièrement touchée (GIEC, 2021), subit une intensification des vagues de chaleur (Russo et al., 2016 ; Sow et al., 2024). À Abidjan, les températures de surface élevées (Ymba, 2022) accentuent ce risque sanitaire (Cissé et al., 2022). Si les impacts et perceptions des chaleurs sont bien documentés dans les pays développés (ex. Europe 2003, Diouf, 2018), ils restent peu étudiés en Afrique. Cette recherche analyse les perceptions et stratégies d'adaptation à Abidjan.

1. Matériels et méthodes

L'étude analyse d'abord l'évolution des températures maximales sur 30 ans en combinant trois tests de détection de ruptures : Pettitt (changements brusques, basé sur le test de Mann-Whitney) ; Buishand (variations de moyenne) ; SNHT (évolutions progressives).

Cette approche multicritère assure une détection fiable des tendances (Mallakpour & Villarini, 2016). Les vagues de chaleur sont identifiées via le 90e percentile des Tmax (période de référence : 1994-2024), définies comme ≥3 jours consécutifs au-dessus de ce seuil. Leur durée moyenne (Dm) et intensité (Mq, excès thermique quotidien) sont calculées pour quantifier leur impact.

$$\mathbf{Dm} = \frac{\Sigma Di}{N}\mathbf{;\ Mq}=\frac{\Sigma(Tm,j-T90p)}{Di}\ \text{où}$$

Di est la durée de chaque vague de chaleur (en jours),

N'est le nombre total de vagues de chaleur enregistré sur la période d'étude.

Tmax,j, est la température maximale quotidienne et T90 le seuil de référence. Cette approche permet de quantifier l'évolution des vagues de chaleur, d'identifier les tendances climatiques et de mieux comprendre leur impact croissant sur l'environnement et la société.

Enfin une enquête ménage a été menée dans cinq communes du district d'Abidjan comme les chaleurs plus impactées par les : Adjamé, Cocody, Treichville, Port-Bouët et Yopougon. La taille de l'échantillon a été déterminée à l'aide de la formule de Bouyer et al. (1995), avec un niveau de confiance de 95% et une précision de 3%, portant sur 1120 ménages. Ces ménages ont été répartis proportionnellement entre les communes en fonction de leur population totale. La collecte des données repose sur un questionnaire ménage a spécifique aux chefs de ménage pour recueillir leurs perceptions des vagues de chaleur et leurs stratégies d'adaptation. Les réponses ont été codées et analysées statistiquement (Excel).

2. Résultats

2.1. Description de l'évolution des températures maximales à Abidjan de 1994 à 2024

La figure 1 ci-dessous présente l'évolution des températures interannuelles de la ville d'Abidjan de 1994 à 2024. L'analyse de l'évolution des températures maximales enregistrées dans la ville d'Abidjan entre 1994 et 2024 fait apparaître une tendance générale à la hausse, ponctuée par deux ruptures significatives. La première en 2005 et la seconde en 2012.

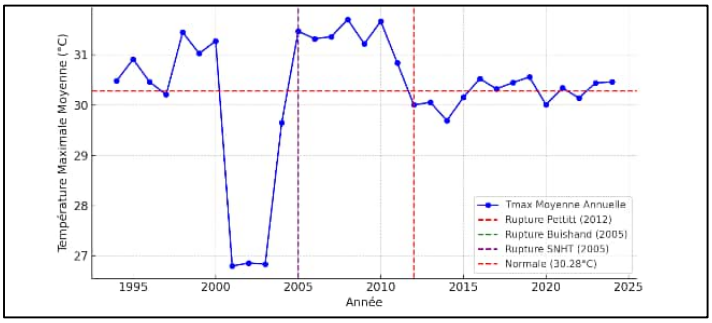


Figure 1. L'évolution des températures maximales interannuelles de la ville d'Abidjan de 1994 à 2024.

Le tableau 1 présente les tendances climatiques avant et après les ruptures.

Avant 2005, une baisse marquée d'environ 0,35°C par an est enregistrée. Entre 2005 et 2011, cette tendance s'atténue avec une diminution plus faible de 0,05°C par an, suggérant une phase de transition sans réchauffement réel. Après 2012, une augmentation modérée des températures d'environ 0,03°C apparaît, indiquant une reprise progressive du réchauffement.

Tableau 1. tendance climatique avant et après les ruptures

Période de rupture	Pente (°C/an)	R^2	valeur p
1994-2004 (Avant-Rupture 2005)	-0,35	0,38	0,043
2005-2011 (Entre les ruptures 2005 et 2012)	-0,05	0,12	0,44
2012 - dernier (Après Rupture 2012)	0,03	0,27	0,069

Après l'analyse des tendances annuelles des températures maximales, l'étude des moyennes mensuelles révèle les fluctuations saisonnières, aidant à identifier les mois les plus chauds de l'année. La figure 2 illustre cette évolution par périodes distinctes. Avant 2005, les températures maximales les plus élevées se situaient entre 30 et 31°C. De 2005 à 2011, elles oscillaient entre 32 et 33°C. Depuis 2012, elles sont établies entre 31 et 32°C. On remarque que, quel que soit la période, les mois de janvier à avril sont ceux ou l'intensité de la température maximale est la plus élevée.

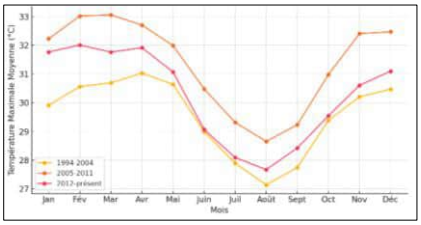


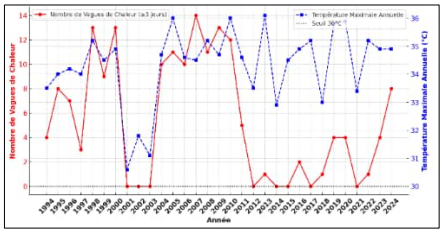
Figure 2. Evolution moyenne mensuelle des températures maximales selon périodes

Ces constats nous conduisent à examiner plus en détail l'interaction entre l'évolution des températures et la fréquence des vagues de chaleur, ouvrant ainsi la voie à une analyse combinée de ces phénomènes climatiques.

2.2. Analyse combinée de l'évolution des températures et du nombre de vagues de chaleurs.

La figue 3 montre l'évolution du nombre de vagues de chaleur et des températures maximales annuelles à Abidjan entre 1994 et 2024, en définissant uniquement les périodes où Tmax ≥ 32,8 °C et ce, pendant au moins trois jours consécutifs.

La courbe en rouge qui représente l'évolution du nombre de vagues de chaleur met en évidence une tendance générale à la hausse du nombre de vagues de chaleur observées, bien que des fluctuations interannuelles existent. Des pics marqués apparaissent en 1998 (13 vagues de chaleur), 2000 (13 vagues de chaleur) et 2007 (14 vagues de chaleur), suivis d'une augmentation soutenue jusqu'en 2010, et d'une légère diminution autour de 2020, avant une reprise en 2024. Par ailleurs, l'analyse de la corrélation entre ces deux variables met en évidence une corrélation positive modérée ($R = 0.48$, $p < 0.05$) entre la température maximale annuelle et la fréquence des vagues de chaleur.



Figue 3. Evolution combinée du nombre de vagues de chaleur et des températures maximales par année (seuil 32.8°C)

Après avoir analysé la relation entre températures maximales et nombre de vagues de chaleur, il est important d'examiner leur durée moyenne pour comprendre si elles demeurent plus persistantes et prolongées avec le temps.

2.3. Analyse combinée de l'évolution du nombre de vagues de chaleur et de leur durée moyenne (1994-2024)

L'analyse de la figure 4 montre que la durée moyenne des vagues de chaleur a considérablement augmenté, en particulier après l'année 2004. En effet, avant l'année 2004, cette durée moyenne se maintenait en dessous de 6 jours, malgré une photo remarquable de près de 8 jours en 1998. Entre 2005 et 2010, la durée moyenne reste constamment au-dessus de 8 jours, avec une photo de 10 jours en 2010. À partir de 2020, la moyenne dépasse désormais les 6 jours, bien qu'à partir de 2011, elle ait diminué en dessous de 5 jours avant de remonter au-dessus de 6 jours en 2024. Ainsi, l'augmentation du nombre de vagues de chaleur s'accompagne souvent d'une augmentation de leur durée moyenne, bien que cette relation ne soit pas linéaire. Certaines années présentent un nombre plus faible de vagues de chaleur, mais avec une durée plus longue, ce qui peut suggérer des vagues de chaleur plus persistantes mais moins fréquentes.

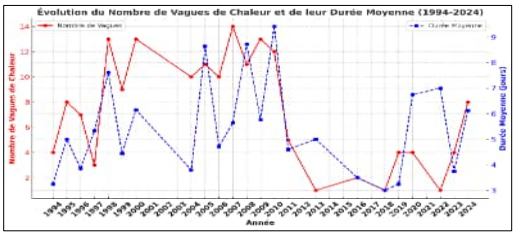


Figure 4. Evolution du nombre de vague de chaleur et de leur durée moyenne (1994-2024)

2.4. Analyse de l'intensité des vagues de chaleur : la magnitude thermique quotidienne

L'intensité des vagues de chaleur varie chaque année. 1994 (0,0129) et 1997 (0,0159) affichent une faible amplitude quotidienne, avec des vagues de chaleur limitées en fréquence et en durée. 1995 (0,0397) et 1996 (0,0268) montrent une intensification modérée, marquant une augmentation progressive de la chaleur. 1998 (0.0983) se distingue par des vagues de chaleur exceptionnelles et prolongées. Ces variations indiquent une tendance au réchauffement, avec des épisodes de chaleur plus longs et fréquents. 2024 (0,0487), classé "modéré-haute", dépasse les niveaux de 1995-1996 mais reste inférieur à 1998. Cette évolution appelle une analyse approfondie pour déterminer si elle traduit une tendance climatique durable ou des fluctuations ponctuelles. Un suivi sur plusieurs décennies est essentiel pour comprendre ces dynamiques et leurs impacts.

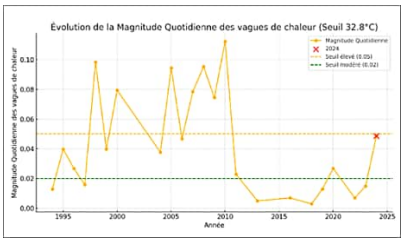


Figure 5. Evolution de la magnitude quotidienne des vagues de chaleur (seuil 32,8°C)

L'intensification des vagues de chaleur suscite des préoccupations climatiques et sociales. Au-delà des données, leur impact sur la vie quotidienne est crucial. La fréquence augmente les perceptions, les comportements et les attentes en matière d'adaptation. Comprendre comment les populations réagissent et s'adaptent devient essentiel pour anticiper les défis futurs liés aux conditions extrêmes.

2.5. Perception publique de la chaleur à Abidjan

L'enquête révèle que la hausse des températures à Abidjan est une préoccupation majeure. 98,88 % des répondants affirment avoir constaté une augmentation des températures, contre 1,12 % qui ne l'ont pas perçue. Cette chaleur excessive se manifeste par des transpirations importantes et est ressentie principalement en milieu de journée (24,5 %), l'après-midi (12,8 %), et plus rarement la nuit (4,5 %). 36,6 % des enquêtés déclarent ressentir la chaleur à tout moment de la journée, avec une sensation généralisée d'inconfort thermique. 54 % qualifient la chaleur de forte, intense et excessive, 13,2 % la jugent brûlante, tandis que 10 % l'estiment constant et récurrent sans périodes précises. Les mois les plus chauds de l'année (figure 6), selon les enquêtes ménage, sont principalement mars (27,14%) et avril (24,76%). Février arrive en troisième position avec 21,43%, ce qui indique que la chaleur commence à s'intensifier au cours de ce mois. Janvier (14,29%) et mai (11,90%) sont moins souvent cités, mais restent significatifs. Il marque le début et la fin de la période de chaleur intense. Ces périodes sont en phase avec les résultats de l'analyse des données qui situent les périodes de forte chaleur entre janvier et avril.

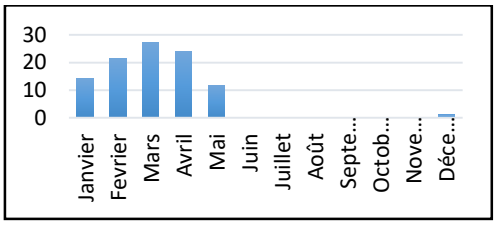


Figure 6. les mois de forte chaleur selon les enquêtes ménages

Face à la chaleur, les stratégies d'adaptation à la chaleur varient en fonction de leur accessibilité et de leur coût. D'après les données, l'utilisation du ventilateur est de loin la plus répandue, représentant plus de 70 % des choix. Cette popularité s'explique par son prix abordable et sa facilité d'utilisation, bien qu'il ne permette pas de rafraîchir l'air de manière significative. Le climatiseur, bien que plus efficace, reste moins utilisé avec environ 18 % d'adoption. Son coût d'achat et de consommation énergétique constitue probablement un frein à son utilisation massive. Les espaces verts ne semblent pas être une solution privilégiée, avec seulement 2,9 % des personnes les contrastant comme un moyen d'adaptation à la chaleur. Ce chiffre pourrait s'expliquer par un manque d'aménagement urbain. La piscine, quant à elle, est très peu exploitée, représentant moins de 0,5 %, ce qui s'explique facilement par son coût élevé et sa faible accessibilité pour la majorité des foyers. Enfin, la catégorie « Autre », qui regroupe 8 % des réponses, pourrait inclure diverses stratégies comme le recours aux bars climatisés etc.

3. Discussion

Abidjan est soumise à des variations climatiques depuis plusieurs décennies. De 1994 à 2024, l'évolution des températures maximales montre des tendances contrastées avant et après les périodes de rupture, influençant à la fois les saisons des pluies et les épisodes de sécheresse. Ces tendances, marquées par des ruptures en 2005 et 2011, montrent une évolution dynamique du climat, mettant en évidence une alternance entre refroidissement, stagnation et réchauffement progressif dans la ville d'Abidjan. Ces changements influencent également la fréquence, l'intensité et la durée des vagues de chaleur. Ainsi, l'augmentation des températures maximales semble favoriser l'augmentation du nombre de vagues de chaleur, soulignant un lien important entre ces deux phénomènes climatiques. La hausse des températures reste une préoccupation majeure pour les habitants d'Abidjan. Pour y faire face, les habitants ont recours

à diverses stratégies notamment : l'utilisation du ventilateur, largement rependu en raison de son cout relativement bas, du climatiseur très faiblement utilisé. En raison de son cout élevé.

Conclusion

Cette étude met en évidence, le lien entre le réchauffement climatique, les vagues de chaleur et la perception publique à Abidjan. Les données montrent une augmentation significative de la fréquence et de la durée des vagues de chaleur, avec des températures maximales en augmentation depuis 2012. La perception publique de la chaleur à Abidjan est largement négative, avec une majorité de résidents ressentant un inconfort thermique accumulé, notamment en milieu de journée. Les stratégies d'adaptation actuelles, bien que variées, sont limitées par des contraintes économiques et d'accessibilité. L'utilisation des ventilateurs et des climatiseurs domine, mais ces solutions ne suffisent pas à répondre aux questions posées par des vagues de chaleur de plus en plus intenses et prolongées. Pour faire face à ces défis, au-delà des politiques urbaines adaptées, Une meilleure sensibilisation et éducation des populations sur les risques liés à la chaleur et les moyens de s'en protéger est également cruciale pour renforcer la résilience face aux changements climatiques.

Remerciement

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes et institutions qui ont contribué à la réalisation de cette étude. En particulier, nous adressons nos chaleureux remerciements au Wits Health Consortium pour le financement de cette recherche. Nous sommes également reconnaissants envers les habitants d'Abidjan qui ont aimablement accepté de répondre en répondant au questionnaire. Notre sincère reconnaissance va aussi au Centre suisse de Recherche Scientifique pour nous avoir fourni les ressources nécessaires à la conduite de cette étude. Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude à tous nos collaborateurs pour leur soutien inestimable tout au long de ce travail.

Bibliographie

Diouf, Nouvelle-Écosse (2018). *Évolution spatio-temporelle des vagues de chaleur en Afrique de l'Ouest et risques associés sanitaires* . http://rivieresdusud.uasz.sn/xmlui/handle/123456789/955

Gamet, P. (2020). *Modélisation Statistique de L'intensité, de la Durée et de la Fréquence des Vagues de Chaleur Simulées Par Les Modèles Numériques de Climat—ProQuest* . https://www.proquest.com/openview/a6caab4669a13775b60a1b967f054a01/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y

Mallakpour, I., et Villarini, G. (2016). Étude de simulation visant à évaluer la sensibilité du test de Pettitt à la détection de variations brutales de la moyenne. *Hydrological Sciences Journal* , *61* (2), 245-254. https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1008482

Ringard, J. (2014). Etude rétrospective et prospective des vagues de chaleur en Afrique de l'Ouest. *Mémoire de maîtrise* https://www.researchgate.net/profile/Justine-Ringard/publication/260018793_Etude_retrospective_et_prospective_des_vagues_de_chaleur_en_Afrique_de_l%27Ouest/links/02e7e52f12bf345bcd000000/Etude-retrospective-et-prospective-des-vagues-de-chaleur-en-Afrique-de-lOuest.pdf

Sow, M., Gaye, D. et Diakhate, MM (2024). Analyse de l'évolution spatiotemporelle de la tendance des extrêmes chaudes au Sénégal. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* . https://doi.org/10.4000/12jq1

Ymba, M. (2022, décembre). *Analyse des effets des îlots de chaleur urbains sur la santé des populations de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)* . Fondation Croix-Rouge française. https://hal.science/hal-04515027

FACTEURS CLIMATIQUES ET SOCIAUX DANS L'EMERGENCE DES INFECTIONS RESPIRATOIRES AIGUËS DANS LA VILLE DE KORHOGO

Kpaka Sabine DIOBO Epse DOUDOU

Université Peleforo Gon Coulibaly de Korhogo-Côte d'Ivoire, Département : Géographie, Grade : Maître-de Conférences, Adresse Email : diobosabine@yahoo.fr

Résumé : *Korhogo, ville du nord ivoirien n'échappe pas aux infections Respiratoires Aiguës (IRA) à cause des conditions climatiques et sociales. L'objectif de cette étude est de montrer comment les facteurs climatiques favorisent-ils l'émergence des IRA à Korhogo. La méthodologie s'est basée sur la recherche documentaire et l'enquête de terrain. Les outils utilisés, sont l'observation directe, le questionnaire et les guides d'entretien. Les données climatiques et épidémiologiques ont été traitées à l'aide de logiciels informatiques. Les résultats : les IRA basses dominent avec 86,89% des cas. La saison sèche est plus favorable avec 67% des IRA. 65,16% des ménages enquêtés habitent des maisons de deux pièces et 54,84% des ménages abritent 3 à 6 personnes. La promiscuité, la pollution de l'air par les fumées, les aérosols et les mauvaises odeurs influencent l'arrivée des IRA dans la ville.*

Mot clés : *Facteurs climatiques et sociaux, IRA, Korhogo*

Abstract : *Korhogo, a city in northern Côte d'Ivoire, is not immune to Acute respiratory Infection (ARI) due to climatic* ***CLIMATIC AND SOCIAL FACTORS IN THE EMERGENCE OF ACUTE RESPIRATORY INFECTIONS IN THE CITY OF KORHOGO.*** *and social conditions. The objective is to show how climatic and social factors promote the emergence of ARI in Korhogo. The methodology used integrates documentary research and field survey. The tools used were direct observation, questionnaire and interview guides. The analysis and processing of the information collected in the field was done using computer software. Acording to the results : Low ARI dominate, accounting for 86.89% of cases. The dry season is more favorable with 67% of ARI. 65.16% of households surveyed live in two-room houses and 54.84% of households house 3 to 6 people. Promiscuity, air pollution caused by smoke, aerosol and foul odors, also influence the ARI in the town.*

Key words : *climatic and social factors, ARI, Korhogo,*

Introduction

Les Infections Respiratoires Aiguës (IRA) touchent les voies respiratoires supérieures ou inférieures. Elles font chaque année près de 4 millions de décès dans le monde. Ces décès, la plupart du temps sont dus aux bronchiolites et aux pneumonies qui sont des IRA basses (Dorin J., 2012, p. 11). D'origine infectieuse, les IRA peuvent prendre des formes très diverses allant d'asymptomatique au bénigne ou fatale, en fonction de l'agent pathogène, de l'environnement ou de l'hôte (OMS, 2007, p. 7). Les agents responsables des IRA sont le pneumocoque, Haemophilus influenzae, le virus respiratoire syncytial, ainsi que Staphylococcus aureus et les virus grippaux (Lafaix C. et *al*., 1997, p. 507). Les maladies respiratoires sont des pathologies ubiquitaires très fréquentes, touchant aussi bien les adultes que les enfants. Leur prolifération et leur mortalité diffèrent des pays industrialisés aux pays en développement (Camara E. et *al*., 2022, p. 15). En Côte d'Ivoire, l'incidence des IRA chez les enfants de moins de 5 ans, est passée de 175‰ en 2016 à 187,3‰ en 2017, soit une hausse de 75‰ (RASS, 2017, p. 94). La malnutrition, la promiscuité, la pollution atmosphérique sont entre autres identifiés comme facteurs favorisant les IRA (Diop M. et *al*., 2020, p. 35). On peut y ajouter certains facteurs tels que l'humidité, les saisons et la température (OMS, 2020, p.1).

Korhogo, chef-lieu de la région du Poro n'est pas épargnée par la prolifération des maladies respiratoires aiguës. En 2017, l'incidence des IRA dans la population générale en Côte d'Ivoire était de 55,3% et de 68,1% à Korhogo (RASS, 2017, p. 267). L'incidence au niveau de la ville de Korhogo est supérieure à l'incidence nationale de 12,8%. Les conditions environnementales

notamment le climat et la qualité du cadre de vie affectée par une démographie galopante sont à l'origine de l'incidence des infections respiratoires aiguës dans cette ville. Cette étude a pour but de mettre en évidence les facteurs climatiques et sociaux favorables à la survenue des infections respiratoires aiguës dans la ville de Korhogo. L'étude, dans un premier temps met en exergue les facteurs climatiques favorables à l'émergence des IRA. Puis dans un second temps, elle aborde l'impact des facteurs sociaux dans l'évolution de ces maladies.

1. Cadre d'étude

La ville de Korhogo, Chef-lieu de la région du Poro, est située au nord de la Côte d'Ivoire entre les coordonnées 9°25'30'' et 9°30'0'' de latitude nord et 5°40'30'' et 5°34'30 de longitude ouest. La ville bénéficie d'un barrage : celui de Koko. Elle est traversée par des bas-fonds drainés et les cours d'eau *Tiologo* et *Téguéré* (Figure 1).

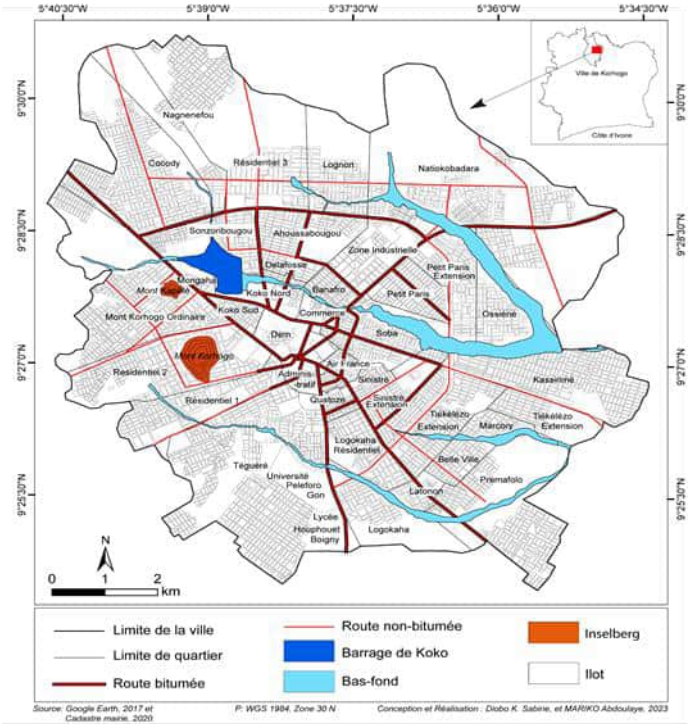


Figure 1 : Localisation de la ville de Korhogo

Sa population est de 440 926 habitants (INS, 2021, P. 14). En plus du peuple Senoufo on y trouve d'autres ivoiriens et des ressortissants de la CEDEAO. Son climat de type tropical humide est marqué par une alternance de deux saisons. La saison sèche, de novembre à avril est marquée par l'harmattan entre décembre et février. La saison des pluies part de mai à octobre avec des pluies maximales en juillet et août. Les températures moyennes varient entre 24° et 33°C. La pluviométrie moyenne annuelle se situe entre 1100 mm et 1600 mm (Boko K., 2013, p. 161). La végétation est dominée par des forêts sèches et des savanes Les quelques îlots de forêts denses sèches sont des bois sacrés dont l'accès est interdit aux non-initiés. On a aussi des forêts galeries le long des cours d'eau (CGES 2013, p. 39).

2. Données et méthodes

Les données épidémiologiques de l'étude proviennent des archives des registres de consultation des différentes structures sanitaires de la ville de Korhogo. Elles couvrent une période de trois (3) ans, c'est-à-dire de 2018 à 2020. Ces données ont fourni des informations

sur la période de consultation (mois), le lieu de provenance, l'âge du malade et le type d'IRA. La méthode statistique a servi au traitement des données épidémiologiques.

Les données climatiques proviennent de la Société D'exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique. Ce sont des données sur la pluviométrie et la température de Korhogo de 2018 à 2021. Ces données ont servi à déterminer le régime pluviométrique ainsi que les saisons, à partir de la méthode de Birot. Selon cette méthode :

- Si P < 2T°c = mois sec
- P ⩾ 2T°c = mois humide

P = Pluviométrie du mois

2T°c = Température de l'air du même mois multipliée par 2

La collecte des données socio-économiques a nécessité l'usage de trois techniques essentielles de collecte dont l'enquête par questionnaire, les interviews et l'observation directe de terrain. Un questionnaire rédigé au préalable avec le logiciel SPHINX a été administré à 310 ménages répartis dans 31 sous quartiers de la ville de Korhogo. Cette première technique a permis de collecter des données nécessaires sur les pratiques et comportements des populations. Ensuite, des séances d'interview ont été effectuées avec les agents de santé afin de collecter d'autres informations sur les maladies respiratoires aiguës. Enfin, l'observation directe a permis de côtoyer le cadre de vie des populations afin de juger la qualité de cet environnement. Le traitement de ces données, s'est fait automatiquement sur le logiciel SPHINX avec la commande traitement et analyses des données.

3. Résultats et discussion

3.1. Formes et type d'Infections Respiratoires Aiguës dans la ville de Korhogo

86,89% des IRA enregistrés dans la ville de Korhogo sont des IRA basses (Tableau 1). Car leur mode de propagation est simple et rapide. Il suffit d'un éternuement ou d'une quinte de toux.

Tableau 1 : Les différentes formes d'IRA à Korhogo

Les formes d'IRA	Effectifs	Fréquence (%)
IRA hautes	1225	13,11
IRA basses	8121	**86,89**
Total	9346	100

Source : Dépouillement des registres de consultation de 2018 à 2020

3.2. Facteurs climatiques et évolution des IRA

Saison sèche : Sur les 9346 cas d'IRA enregistrés, 6262 personnes, soit 67% ont fait la maladie en saison sèche. Le nombre des personnes contaminées a connu une augmentation rapide de novembre à février, passant de 986 cas à 1171 malades (Tableau 2). Trois raisons peuvent expliquer cette croissance des effectifs d'IRA en saison sèche.

- La première pourrait être la fin brutale de la saison des pluies. Octobre, dernier mois de la saison pluvieuse enregistre 102,61 mm d'eau et novembre premier mois de la saison sèche 18,89 mm. Cet écart pluviométrique peut fragiliser la santé des populations.

- La variation des températures serait la seconde raison qui pourrait justifier l'importance des cas d'IRA dans la ville. De 27°c en novembre, la température chute à 26°c aux mois de décembre, janvier et passe à 28,76°c en février.

- L'influence des vents. L'installation de l'harmattan (vent chargé d'aérosols venant du Sahara) de novembre à février est suivie par la déflation des sols et le soulèvement des poussières à partir de février (Photo 1). Les aérosols soulevés par les tourbillons peuvent affecter l'appareil respiratoire des personnes qui les inhalent.

Tableau 2 : L'évolution des IRA en la saison sèche

Mois sec	Pluie (mm)	Température	Effectifs	%
Novembre	18,89	27,17	986	15,75
Décembre	3,68	26,48	1191	19,02
Janvier	7,12	26,63	1242	19,83
Février	11,67	28,76	1171	18,7
Mars	40,4	29,52	956	15,27
Avril	82,21	28,93	716	11,43
Total	163,97	28	6262	100

Source : Dépouillement des registres de consultation de 2018 à 202



Photo 1 : Soulèvement de poussière à Petit Paris

Source : DIOBO, février 2025

Saison de pluie : De 28°c en saison sèche, la température passe à 26°c en saison de pluie. Cette saison, plus douce et plus humide (1017,88 mm d'eau) enregistre 33% des malades. Le nombre des personnes touchées par les IRA est plus important en début (mai 20,3% des cas) et en fin de saison des pluies (octobre 21,2%) (Tableau 3). Les cas d'IRA enregistrés pendant la période humide peuvent être liés à l'impact des facteurs sociaux.

Tableau 3 : L'évolution des IRA en saison pluvieuse de 2018 à 2020

Saison de pluie	**Pluie (mm)**	**Température**	**Effectifs**	**Fréquence (%)**
Mai	122,14	27,61	626	**20,3**
Juin	137,19	26,43	557	**18,06**
Juillet	191,86	25,50	435	14,11
Août	246,51	24,85	388	12,58
Septembre	217,58	25,17	424	13,75
Octobre	102,61	26,34	654	**21,2**
Total	**1017,88**	**26**	**3084**	**100**

Source : Dépouillement des registres de consultation de 2018 à 2020

3.3- Facteurs sociaux de distribution des Infections Respiratoires Aiguës

La promiscuité : un facteur de prolifération des IRA. 54,84% des ménages ont une taille de 3 à 6 personnes. 60,40% de ces ménages vivent dans des logements de 2 pièces (Tableau 4). Ces effectifs pléthoriques dans les ménages peuvent entrainer la propagation de la toux et du rhume.

Tableau 4 : Taille des ménages par type de logement

Type de logement	Taille des ménages							
	De 1-3		De 3-6		Plus de 6		Total	
	EFF	%	EFF	%	EFF	%	EFF	%
1 pièce	13	76,47	4	23,53	0	00	17	5,48
2 pièces	53	26,24	122	60,40	27	13,37	**202**	**65,16**
3 pièces	15	23,44	36	36,25	13	20,31	64	20,65
4 pièces	0	00	6	28,57	15	71,43	21	6,77
Plus de 4 pièces	0	00	2	33,33	4	66,67	6	1,94
Total	**81**	**26,13**	**170**	**54,84**	**59**	**19,03**	**310**	**100**

Source : Enquête de terrain, novembre 2024

La pollution atmosphérique : Il s'agit des fumées provenant de l'incinération des ordures ménagères, du fonctionnement des agro-industries et de la circulation des véhicules. L'usage des bois de chauffe pour la cuisson et les mauvaises odeurs des ordures ménagères peuvent être mises en cause dans la prolifération des IRA.

3.4. Discussion

La ville de Korhogo de 2018 à 2020, a enregistré 86,89% de cas d'IRA basses contre 13,11 % pour les IRA hautes. Ces résultats sont corroborés par ceux de Catherinot E. et *al.,* (1993, p. 7) qui soutiennent qu'en France, les IRA basses sont à la base de 12 millions de consultations par an. Selon un rapport du Ministère de la Santé du Bénin (2009, p. 132), les IRA basses constituent la deuxième cause de consultations des enfants avec 67,8% de malades.

Les facteurs climatiques sont pertinents dans la compréhension de l'émergence et la distribution spatiale des Infections Respiratoires Aiguës dans la ville de Korhogo. Les facteurs climatiques favorables à la propagation des IRA dans cette ville sont la pluie, le vent, la température. Mais la saison sèche reste la saison pendant laquelle les cas d'IRA sont plus importants. Elle enregistre 6262 cas, soit 67% des cas d'IRA dans la ville. Nos résultats sont identiques à ceux obtenus par Alfiery C. (2003, p. 3). A Bobo, l'auteur affirme qu'il faut établir une relation étroite entre les différentes formes d'IRA et les conditions climatiques surtout la saison sèche et chaude. Victoria C. et *al*., (1985, p. 32) attestent ce résultat. Pour eux, au sud du Brésil, le froid favorise des infections respiratoires entrainant une augmentation des décès par pneumonie.

Enfin, les facteurs sociaux tels que la promiscuité et la pollution de l'air ambiant à travers les fumées, la poussière et les mauvaises odeurs influencent la distribution spatiale des IRA dans la ville de Korhogo. Nos résultats corroborent ceux de Aka A. (1992, p. 145) qui affirme que les habitats insalubres et le surpeuplement dans les ménages sont à l'origine des IRA chez les enfants de moins de 6 ans venus en consultation à la PMI de Cocody à Abidjan. Ces résultats sont également similaires à ceux de la première revue de la médecine d'Afrique Noire (2020, p,151) qui justifient que la majeure partie des enfants atteints d'IRA provenaient des zones défavorisées de Dakar (au Sénégal) caractérisées par un bas niveau sociodémographique, une promiscuité et une forte pollution atmosphérique.

4. Conclusion

Les Infections Respiratoires Aiguës s'avèrent une réalité dans la ville de Korhogo. De 2018 à 2020, la ville a enregistré 9346 cas d'IRA en général. Les IRA basses sont les plus fréquentes avec 86,89% des malades. Les facteurs climatiques et sociaux côtoyés par les populations sont à l'origine de la prolifération de ces infections respiratoires. La saison sèche, caractérisée par l'arrivée de l'harmattan est la plus rigoureuse avec la hausse des températures (28°c) l'accumulation de la poussière dans l'atmosphère par les tourbillons. Les cas d'IRA à cette période sont les plus importants avec 67% des malades. Le cadre de vie des populations influence aussi la prolifération des IRA. Dans la ville de Korhogo, 65,16% des ménages

enquêtés habitent dans des logements de deux (2) pièces et 54,84% des ménages abritent 3 à 6 personnes. Cette promiscuité dans les ménages engendre la prolifération des IRA. Au-delà de la promiscuité dans les ménages, la pollution de l'air par les fumées d'usines, la poussière et les odeurs dégagées par la mauvaise gestion à ordures ménagères favorisent l'expansion des Infections Respiratoires Aiguës dans la ville de Korhogo.

Bibliographie

ALFIERI Chiara, 2013, Connaissance populaire et pratique des infections respiratoires aiguës (IRA) infantiles en population à Bobo (Burkina-Faso), 124 p.

AKA Amoin épouse N'GUETTA, 1992, Facteurs de risques des infections respiratoires aiguës chez l'enfant de 0 à 6 ans, Etude menée en PMI de Cocody, 171 p.

BOKO Koiadia Adjoua Nadège, 2013, Variabilité climatique et changement dans l'environnement à Korhogo en Côte d'Ivoire : Mythes ou réalité, Thèse unique de doctorat, Institut Ethnosociologie (IES), Université Felix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan, Côte d'Ivoire, 176 p.

CAMARA Emmanuel, KOUYATE Moustapha, BARRY Ibrahima Koolo, DIALLO Mohamed Lamnine, CAMARA Salématou Hasmiou, BANGOURA Kaba, DIALLO Fatoumata Binta, Bangoura Mmah Aminata, DIOP Mohamed Moustapha, 2022, Infections Respiratoires Aigües Virales chez les Enfants de Moins de 15 Ans à Conakry : Étiologies et Prise en Charge, Health Sci. Dis : Vol **23**, pp. 15-19.

CATHERINOT E, BRON C, RIVAUD E, COUDERC L, 1993, Infections respiratoires basses communautaires », 41 p.

Cadre de Gestion Environnementale et Sociale (CGES), 2013, Projet de renaissance des infrastructures en Côte d'Ivoire, 167 p.

DIOP Mamadou Moustapha, CAMARA Emmanuel, BARRY Ibrahima Koolo, BARRY Mamadou Ciré, BARRY Aissata, DOUKOURE Mamadou Aliou, DIALLO Saliou Bella, 2020, Facteurs Associés à la Survenue des Infections Respiratoires Aigües chez les Enfants de 0 à 5 Ans Hospitalisés à l'Hôpital National Donka à Conakry, pp. 35-38.

DORIN Joséphine, 2012, Etude épidémiologique des infections respiratoires virales des hivers 2009 à 2012 en milieu hospitalier et apport des nouvelles technologies au diagnostic viral, 102 p.

Institut National de la Statistique, Direction Régionale de Korhogo (2021) « Enquête sur le niveau de vie des ménages », 127 p

LAFAIX C et REINERT P, 1997, Morbidité et mortalité de l'infection respiratoire aigüe chez l'enfant de moins de 5 ans dans le monde, MEd Mal Infect. 1997, pp. 507-212.

Médecine d'Afrique Noire, 2020, Infections respiratoires aiguës de l'enfant : Etude prospective à propos de 109 cas au C.H.U de Dakar, 153 p.

Ministère de la Santé et de l'Hygiène Publique, 2016, Plan National de Développement Sanitaire 2016-2020, 88 p.

Ministère de la Santé du Bénin, 2009, Annuaire des statistiques sanitaires, 201 p.

NIAMIEN Frederic, 2004, Evaluation de la prise en charge des infections respiratoires aiguës en milieu hospitalier pédiatrie », 113 p.

Organisation Mondial de la Santé, 2020, Manuel pratique pour la mise en place et la gestion d'un centre de traitement des IRAS et d'une unité de dépistage des IRAS dans les établissements de soins, 124 p.

Organisation Mondial de la Santé, 2007, Prévenir et combattre les maladies respiratoires à tendance épidémique ou pandémique dans le cadre des soins, 108 p.

Rapport Annuel sur la Situation Sanitaire (RASS) 2017, 397 p.

VICTORA César, VAUGHAN Patrick, BARROS Fernando, 1985, Seansonality of infant deaths due to diarrheal and respiratory diseases in Southern Brazil 1974-1978, 39 p.

REPOSITIONNEMENT DES MÉTHODES MODERNES DE CONTRACEPTIONS ET RISQUE DE FLAMBÉE DES IST/VIH/SIDA CHEZ LES JEUNES DE 15-24 ANS DE LA VILLE DE COTONOU

Laurenda Carmen GNELE[3], Kannayi Frédéric LODOUHOUÉ[1,2] et Expédit Wilfrid VISSIN [1, 2]

[1]Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, BP 1338
[2]Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey Calavi, B.P 526 ;
[3]Master Intégration Régionale et développement (MIRD) UAC, B.P
Courriel : *laurendagnele@gmail.com, lodoufred@gmail.com, exlaure@gmail.com*

Résumé : *Cette étude vise à analyser la santé sexuelle des jeunes urbains à Cotonou (Bénin) dans un contexte de vulnérabilités sociales et climatiques. Une enquête par questionnaire a été menée auprès d'élèves et étudiants (15-24 ans), complétée par des entretiens avec des acteurs-clés. Les résultats révèlent une précocité des rapports sexuels (plus de 60 % avant 15 ans), une fréquence élevée et des pratiques à risque, associées à un faible dialogue familial sur la sexualité. L'adoption des méthodes contraceptives est modérée, ce qui contribue aux grossesses précoces et aux risques d'IST/VIH. Les vulnérabilités climatiques aggravent les conditions socio-économiques, limitant l'accès aux services de santé reproductive et amplifiant ces risques. Ces données soulignent la nécessité d'intégrer les enjeux climatiques dans les politiques de prévention.*

Mots-clés : *Cotonou, santé sexuelle, jeunes urbains, vulnérabilités climatiques, contraception,*

Abstract: ***Sexual health of young people in urban context: modern contraceptive methods and risks of ist/hiv/aids in Cotonou (Benin)*** *in a context of climatic and social vulnerabilities. This study aims to analyze the sexual health of young urban people in Cotonou (Benin) in a context of social and climatic vulnerabilities. An investigation by questionnaire was carried out with students and students (15-24 years), supplemented by interviews with key actors. The results reveal a precocity of sexual intercourse (more than 60 % before 15 years), a high frequency and risky sexual behaviors, associated with a low family dialogue on sexuality. The uptake of contraceptive methods is moderate, which contributes to early pregnancies and the risks of STI/HIV. Climatic vulnerabilities aggravate socio-economic conditions, limiting access to reproductive health services and amplifying these risks. These data highlight the need to integrate climatic issues into prevention policies.*

Keywords: *Cotonou, sexual health, young urban people, climatic vulnerabilities, contraception,*

Introduction

La santé sexuelle des adolescents et des jeunes demeure un enjeu de santé publique en Afrique subsaharienne, où près de 50 % des naissances surviennent à l'adolescence, avec un taux élevé de grossesses non désirées et d'avortements à risque (OMS, 2009 ; 2015). Ces phénomènes exposent les jeunes à une morbidité et une mortalité maternelle importantes. À Cotonou, les adolescentes contribuent pour 21 % à la fécondité totale, et 93 % des grossesses non désirées aboutissent à des avortements souvent réalisés dans des conditions précaires.

Ces vulnérabilités sexuelles sont aggravées par des facteurs sociaux (précarité, faible accès à l'éducation sexuelle) et, de plus en plus, par des facteurs climatiques. Les inondations récurrentes, la chaleur extrême ou encore les perturbations des services de santé urbains rendent difficile l'accès aux soins, à l'information et aux méthodes contraceptives modernes. Ces conditions renforcent l'exposition des jeunes aux IST/VIH/SIDA (PÉPIN, 2010) et aux grossesses précoces non désirées.

Dans ce contexte, le Comité CEDEF (1999) souligne l'urgence d'investir dans la prévention par l'éducation sexuelle, la planification familiale et l'accès à des soins de qualité. La présente

étude interroge donc les liens entre vulnérabilités climatiques et sociales, pratiques contraceptives et risques sanitaires liés à la sexualité des jeunes à Cotonou.

1. Présentation du milieu d'étude

La commune de Cotonou (figure1), située sur un cordon littoral entre le lac Nokoué et l'océan Atlantique, est exposée à des risques climatiques tels que l'inondation et l'érosion côtière, qui impactent les conditions de vie de sa population, notamment les jeunes.

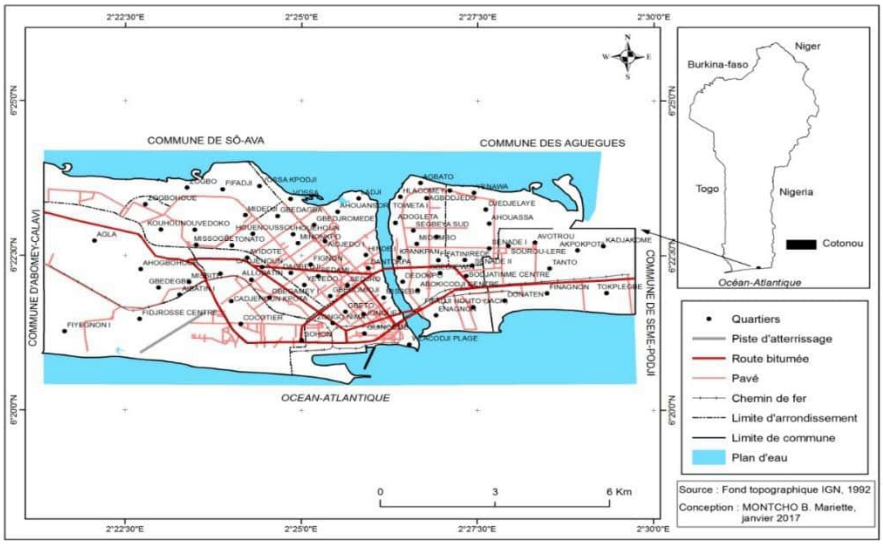


Figure 1. Carte de la ville de Cotonou

Limitée au nord par la commune de Sô-Ava et le lac Nokoué, au Sud par l'Océan Atlantique, à l'Est par la commune de Sèmè-Kpodji et à l'Ouest par celle d'Abomey-Calavi ; elle couvre une superficie de 79 km^2 avec une population dense répartie en 13 arrondissements où coexistent zones urbaines denses, infrastructures portuaires, et quartiers vulnérables. Ces facteurs environnementaux et socio-économiques influencent la santé sexuelle et reproductive des adolescents et jeunes, notamment à travers leurs conditions d'accès aux services de santé et à l'information.

2.Méthodologie

La méthodologie de cette étude a pris en compte plusieurs dimensions essentielles : la nature de l'étude, la recherche documentaire, la population cible, la zone d'étude, l'échantillonnage, la taille de l'échantillon, les outils et techniques de collecte des données, le déroulement de l'enquête, l'analyse des données, ainsi que les difficultés et limites rencontrées.

La collecte des données auprès des élèves (15 à 24 ans) de la ville de Cotonou a été réalisée à l'aide d'un questionnaire structuré. Ce questionnaire a intégré des informations sur le statut sociodémographique des participants, leur comportement sexuel, leurs connaissances, perceptions et pratiques concernant les IST/VIH/SIDA, les méthodes contraceptives, ainsi que leurs sources d'exposition aux messages sur la santé sexuelle et reproductive des adolescents et jeunes (SSRAJ).

En parallèle, des entretiens libres ont été conduits avec des personnes ressources, notamment des jeunes activistes et des prestataires de services de santé, afin de compléter et enrichir les données quantitatives. Dans une perspective interdisciplinaire, l'étude a également intégré une analyse des vulnérabilités climatiques et sociales spécifiques à la zone urbaine de Cotonou,

pour mieux comprendre leur influence sur les comportements et les risques liés à la santé sexuelle des jeunes. Cette dimension climatologique a été prise en compte lors de la phase d'enquête et dans l'analyse des résultats, en tenant compte des conditions environnementales, des événements climatiques extrêmes et des contraintes socioéconomiques qui peuvent accentuer la vulnérabilité des populations étudiées.

La méthode d'échantillonnage utilisée est probabiliste, reposant sur une technique de sondage à deux degrés. Les critères d'inclusion et d'exclusion ont été clairement définis, et les participants ont été sélectionnés de manière aléatoire pour garantir la représentativité de l'échantillon. Concernant la deuxième cible de l'étude « les personnes ressources », une méthode non probabiliste avec une technique de choix raisonné a été adoptée afin de sélectionner des informateurs clés pertinents.

3.Résultats

3.1. Comportements sexuels

La figure 2 présente la répartition par âge du premier rapport sexuel chez les élèves du secondaire à Cotonou.

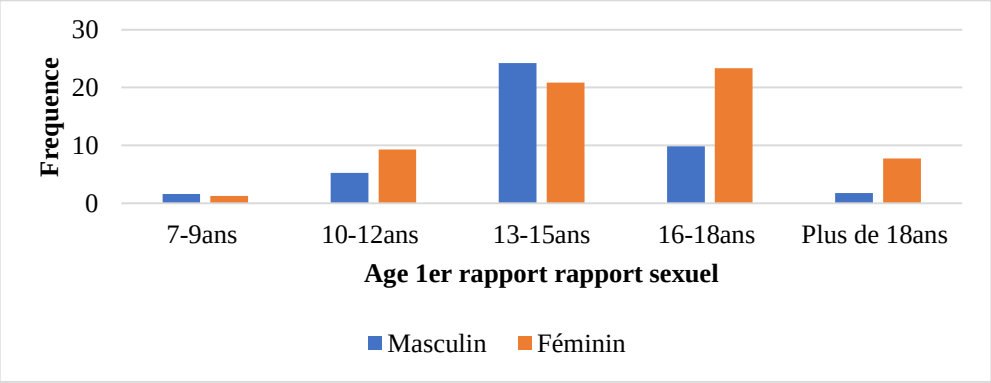


Figure 2. Age du premier rapport sexuel des enquêtés du secondaire
Source : *Enquête de terrain, 2023*

L'enquête révèle que 62 % des adolescents du secondaire ont eu leur premier rapport sexuel avant 15 ans, avec une répartition égale entre filles et garçons (31 % chacun). Ce phénomène précoce peut être exacerbé par des facteurs liés aux vulnérabilités climatiques, telles que les périodes de crise alimentaire ou économique induites par des événements climatiques extrêmes (inondations, sécheresses), qui peuvent fragiliser les familles et pousser les jeunes à adopter des comportements à risque pour subvenir à leurs besoins.

La figure 3 montre l'âge du premier rapport sexuel chez les étudiants universitaires de Cotonou.

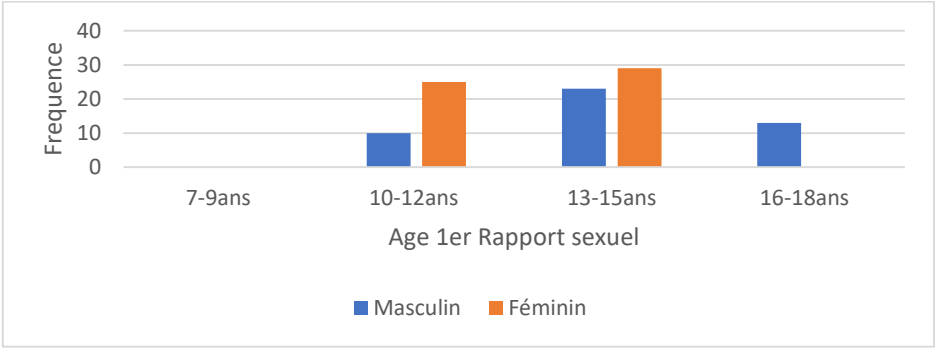


Figure 3. Age du premier rapport sexuel des enquêtés du supérieur
Source : *Enquête de terrain, 2023*

Ici, 87,5 % des étudiants ont eu leur premier rapport sexuel avant 15 ans, avec une disparité notable : 33 % des garçons contre 100 % des filles. Les vulnérabilités climatiques et sociales urbaines, telles que la pression économique liée à la dégradation environnementale, peuvent renforcer ces comportements précoces et exposer davantage les jeunes filles aux risques sexuels.

3.1.1. Types de rapports sexuels

La figure 4 illustre les différents types de rapports sexuels chez les élèves du secondaire et la figure 5 chez les universitaires.

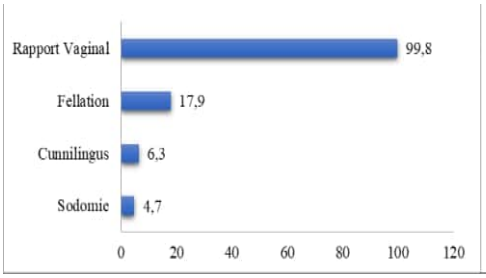


Figure 4 : Types de rapports sexuels pratiqués par les enquêtés du secondaire

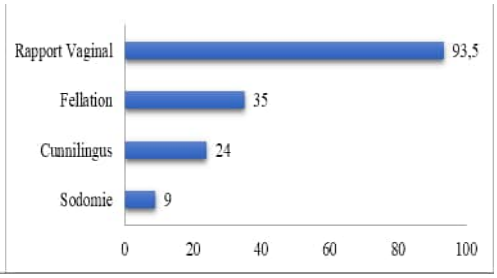


Figure 5 : Types de rapports sexuels pratiqués par les enquêtés du supérieur

Source *: Enquête de terrain, 2023*

La majorité pratique le rapport vaginal, mais des pratiques à risque comme la fellation (17,9 %), le cunnilingus (6,3 %) et la sodomie (4,7 %) sont également présentes. Ces comportements peuvent s'intensifier dans un contexte de stress social et environnemental accru par les effets du changement climatique (chômage, pauvreté, instabilité), qui influencent négativement les décisions des jeunes en matière de sexualité.

Tout comme chez les secondaires, le rapport vaginal est plus pratiqué chez nos enquêtés du supérieur (93,5 %). Mais 35 % d'entre eux pratiquent la fellation, 24 % le cunnilingus et 9 % la sodomie. Ce développement des pratiques sexuelles est lié à l'exposition accrue des jeunes urbains aux transformations sociales et environnementales, notamment celles engendrées par le climat, qui modifient leurs conditions de vie et leur accès à l'information et aux services. On peut lire aussi dans ces données que plus le niveau d'instruction augmente plus les pratiques sexuelles sont développées surtout chez les garçons.

3.1.2. Fréquence des rapports sexuels

Les figures 6 et 7 montrent la fréquence des rapports sexuels mensuels chez les jeunes des deux groupes étudiés.

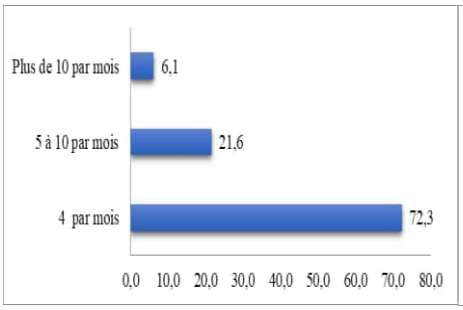


Figure 6. Nombre de rapport sexuel par mois chez les secondaires

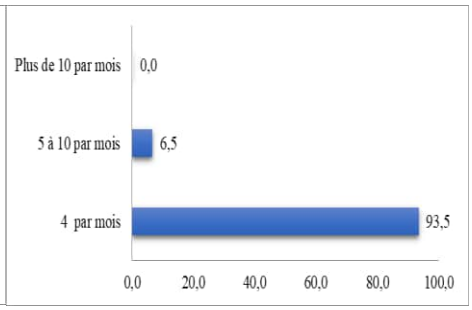


Figure 7. Nombre de rapport sexuel par mois chez les universitaires

Source : Enquête de terrain, 2023

Les résultats indiquent une hypersexualité avec plus de 70 % des secondaires et plus de 90 % des universitaires ayant au moins 4 rapports sexuels par semaine. Ces comportements sont liés à une réponse psychosociale au stress et à la précarité accentués par les conditions climatiques difficiles, telles que l'insécurité alimentaire ou la perte de ressources, qui affectent le bien-être mental et les dynamiques familiales.

3.2. Dialogue parents/enfants sur la sexualité

Le tableau I illustre l'absence notable de dialogue sur la sexualité entre parents et enfants.

Tableau 1. Nombre de jeunes qui discute de la sexualité avec leurs parents

Sexe	Secondaire		Supérieur	
	Oui	Non	Oui	Non
Masculin	82 (14,39)	154 (27,01)	16	30
Féminin	118 (20,70)	216 (37,89)	16	38
Total	**200 (35,10)**	**370 (64,9)**	**32**	**68**

Source : Enquête de terrain, 2023

Plus de 64 % des secondaires et 68 % des universitaires ne discutent pas de sexualité avec leurs parents. Ce silence peut être amplifié par les pressions sociales et économiques aggravées par les aléas climatiques (déplacements, insécurité), qui fragilisent les relations familiales et réduisent les opportunités d'échanges constructifs sur ce sujet.

3.2. Connaissance et perception des enquêtés sur les méthodes contraceptives et les IST

Le tableau II montre le niveau de connaissance des méthodes contraceptives selon le niveau d'instruction et le sexe.

Tableau 2. Connaissance des méthodes contraceptives

Sexe	Secondaire		Universitaire	
	Oui	**Non**	**Oui**	**Non**
Masculin	36,85	4,56	46	0
Féminin	50,70	7,89	54	0
Total	**87,55**	**12,45**	**100**	**0**

Source : Enquête de terrain, 2023

87,55 % des secondaires et 100 % des universitaires connaissent au moins trois méthodes contraceptives, signe d'une forte exposition aux campagnes de sensibilisation. Pourtant, les crises climatiques récurrentes peuvent limiter l'accès physique et financier à ces moyens de contraception, surtout dans les quartiers vulnérables, augmentant ainsi le risque de grossesses non désirées.

3.3.2. Adoption des méthodes contraceptives

Le tableau 3 présente les taux d'adoption des méthodes contraceptives par sexe, âge et niveau d'instruction.

Tableau 3. Nombre de jeunes ayant adoptés une méthode de contraception par tranche d'âge et par niveau d'instruction

Sexe	Age	Secondaire		Universitaire	
		Oui	Non	Oui	Non
Masculin	15-19 ans	19,47	11,05	17	0
	20-24 ans	7,89	2,98	26	3
Total		**27,36**	**14,03**	**43**	**3**
Féminin	15-19 ans	25,96	19,29	19	0

	20-24 ans	9,59	4,74	32	3
Total		**35,55**	**24,03**	**51**	**3**
Totaux		**62,91**	**38,06**	**94**	**6**

Source : *Enquête de terrain, 2023*

Le taux d'adoption est moyen chez les secondaires (27,36 % garçons, 35,55 % filles) mais plus élevé chez les universitaires. La vulnérabilité liée aux impacts climatiques influence la réduction de la capacité des jeunes à accéder régulièrement aux contraceptifs, expliquant en partie les taux encore insuffisants et le nombre élevé de grossesses précoces dénombré chaque année dans nos lycées et collèges.

3.3.3. Vulnérabilités climatiques

Le lien étroit entre le climat et l'environnement met en évidence l'urgence d'agir pour préserver notre planète. Face aux menaces telles que les émissions de gaz à effet de serre et la dégradation des écosystèmes, une action collective est nécessaire pour les conditions socio-économiques, limitant l'accès aux services de santé reproductive et amplifiant ces risques. En prenant conscience de notre impact et en adoptant des pratiques durables, nous pouvons forger un avenir plus viable pour tous.

Et aussi, en mettant en œuvre des stratégies d'adaptation, il est possible de réduire les risques pour la santé associée aux changements climatiques et environnementaux, tout en renforçant la résilience des populations et des systèmes de santé.

C'est en unissant nos efforts que nous pouvons construire un monde plus résilient et équilibré pour les générations futures

Conclusion

Cette étude met en lumière la précocité et la fréquence élevée des rapports sexuels chez les jeunes urbains de Cotonou, associées à des pratiques sexuelles à risque et un faible usage des méthodes contraceptives. Le déficit de dialogue familial et le poids des tabous culturels exacerbent la vulnérabilité des adolescents et jeunes face aux IST/VIH/SIDA et aux grossesses non désirées. Par ailleurs, les vulnérabilités climatiques, en aggravant les conditions socio-économiques, constituent un facteur aggravant qui limite l'accès aux services de santé reproductive et compromet davantage la santé sexuelle des jeunes. Il est donc urgent d'intégrer les dimensions climatiques dans les politiques de santé sexuelle et reproductive, en renforçant les actions éducatives, la planification familiale et l'accès aux soins adaptés aux réalités urbaines et climatiques du Bénin.

Bibliographies

Centre d'Etudes et de Recherche sur la Population pour le Développement. 1996, *Etude régionale sur la Santé de la Reproduction des Adolescents dans le Sahel − Recherche qualitative sur les tendances et les déterminants de la contraception moderne chez les adolescents au Burkina Faso, au Mali, au Niger*, série. Rapport de recherche Vol. n°1, Septembre 1999.

Cisse H. 2002, *Etude comparative des connaissances attitudes et pratiques des adolescents scolaires et non scolaires en matière d'IST/SDA dans la commune de SIKASSO*. Thèse de médecine, Université du Mali, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odontostomatologie.

OMS/ONUSIDA (2009). Rapport sur l'épidémie mondiale de SIDA, Le Programme commun des Nations-Unies sur le VIH/SIDA (ONUSIDA) et l'Organisation mondiale de la santé, (OMS), Le point sur l'épidémie de SIDA, Genève. ONUSIDA/OMS.

Pépin Jacinthe, 2010 : Résumé de La pensée infirmière. La troisième édition de La pensée infirmière se veut une Disponibilité : Rupture de stock

PERCEPTION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET DES RISQUES NATURELS : CAS DE LA VILLE DE KORHOGO AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE

Gbamain Eric GOGOUA[1], Seydou Kadodjomon SORO[2]

[1]*Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo gogouagbamaineric@gmail.com*

[2]*Université Peleforo GON COULIBALY de Korhogo kadodjomon1995@gmail.com,*

Résumé : *Les aléas climatiques ont provoqué des catastrophes naturelles au cours de ces dernières années. Ainsi, en Côte d'Ivoire, selon une étude intitulée ''Stratégie Nationale de Gestion des Risques de Catastrophes & Plan d'Action'' diligentée par le Secrétariat de l'ONU-SIPC (2011, pp 10- 11), dans les années 1968-1970, de graves inondations et des épidémies ont affecté le pays tout entier et plus particulièrement la ville d'Abidjan. Par ailleurs, une pluie torrentielle dans la nuit du 1er au 2 septembre 2007 a occasionné 5 morts et de nombreux dégâts matériels dans les quartiers populaires des villes de Korhogo et de Ferkessédougou. Cette étude consiste à mieux appréhender la perception du climat et des risques naturels de la population de l'espace urbain de Korhogo densement peuplé dans un contexte de forte fluctuation climatique. Pour ce faire, un questionnaire a été administré à un échantillon de 285 ménages. Les outils utilisés sont entre autres Kobocollect pour le questionnaire, ArcGIS 10.3 et Adobe Illustrator CC 2018 pour les réalisations des cartes et Excel 2016 pour l'analyse des données climatiques. Il ressort que le risque d'inondation est le plus craint. Les enquêtés, tous, sont assez sensibles à la question de variabilité climatique. Enfin, les résultats stipulent qu'il existe un lien moyen entre la variabilité climatique et les risques naturels. Ce lien est fonction du niveau d'instruction.*

Mots clés *: Côte d'Ivoire ; Korhogo ; Variabilité climatique ; Perception ; Risque Naturel.*

PERCEPTION OF CLIMATE VARIABILITY AND NATURAL RISKS: THE CASE OF THE CITY OF KORHOGO IN NORTHERN CÔTE D'IVOIRE.

Abstract: *Climate hazards have caused natural disasters in recent years. In Côte d'Ivoire, according to a study titled "National Strategy for Disaster Risk Management & Action Plan", conducted by the UN-SIPC Secretariat (2011, pp. 10-11), severe floods and epidemics affected the entire country, particularly the city of Abidjan, between 1968 and 1970. Additionally, a torrential rainstorm during the night of September 1-2, 2007, caused five deaths and significant material damage in the popular neighborhoods of Korhogo and Ferkessédougou. This study aims to better understand the perception of climate and natural risks among the population of the densely populated urban area of Korhogo in a context of significant climate fluctuations. To achieve this, a questionnaire was administered to a sample of 279 households. The tools used include Kobocollect for the questionnaire, ArcGIS 10.3 and Adobe Illustrator CC 2018 for mapping, and XLSTAT 2014 for climate data analysis. The findings indicate that flooding is the most feared and hardest-to-manage risk according to respondents. It is also considered the fastest-growing risk among landslides, rockfalls, and erosion. All respondents showed a high level of awareness regarding climate variability. Finally, the results highlight a strong link between climate variability and natural risks.*

Keywords*: Côte d'Ivoire; Korhogo; Climate variability; Risk; Natural*

Introduction

Le milieu de vie est souvent atteint par la survenue de catastrophes naturelles entrainant des pertes matérielles et même des pertes en vies humaines. Les risques et catastrophes naturels en sont des exemples. Le développement urbain ainsi que le dérèglement climatique sont inséparables des risques. Défini comme la probabilité qu'a un événement lié à la nature à provoquer des dommages (Dollfuss et d'Ercole, 1996 cités par Kamenan Marcel Brou 2015, p 23), le risque naturel est devenu une préoccupation pour les sociétés modernes car, bien de pays sont ravagés périodiquement par des inondations avec des violences parfois exceptionnelles. L'espace urbain de Korhogo, au Nord de la Côte d'Ivoire n'est pas en marge de cette réalité vu la récente manifestation d'aléas naturels produisant des dégâts matériels au niveau des toitures des bâtis et des pertes en vies humaines, causant la mort de trois enfants par l'effondrement d'un

pylône de téléphonie mobile pendant des violents orages, l'obstruction d'une voie d'accès à la ville et l'indisponibilité des services appels, internet et sms (le 28 juin 2024 par 7info.ci consulté le 09 Mars 2025 à 11h31min). Pour Meur-Férec C. 2006 (cité par Nicolas VERLYNDE, 2018, p.279), la perception du risque auquel la population est exposée est un facteur déterminant de la vulnérabilité. Cependant, il affirme que la perception du risque n'a pas de définition unique sur le plan scientifique, elle dépend de la compréhension personnelle du risque chez l'individu. Savoir comment sont perçus les risques naturels et la variabilité climatique dans la ville de Korhogo permet de concevoir des politiques de mesures appropriées afin de réduire leur vulnérabilité en cas d'aléa. L'objectif de cette étude est d'analyser la perception des risques et de la variabilité climatique de la population de la ville de Korhogo. Il s'agit de façon plus claire d'apporter des données sur la manière dont les risques naturels notamment celui de l'inondation, de l'érosion et des mouvements de masse (éboulement et éboulis) et la variabilité climatique sont perçus par rapport au niveau d'instruction des enquêtés. A cet effet une enquête a été menée au sein de la ville de Korhogo (Voir figure 1), plus grande ville de la région de Nord du pays et à fort impact sociodémographique.

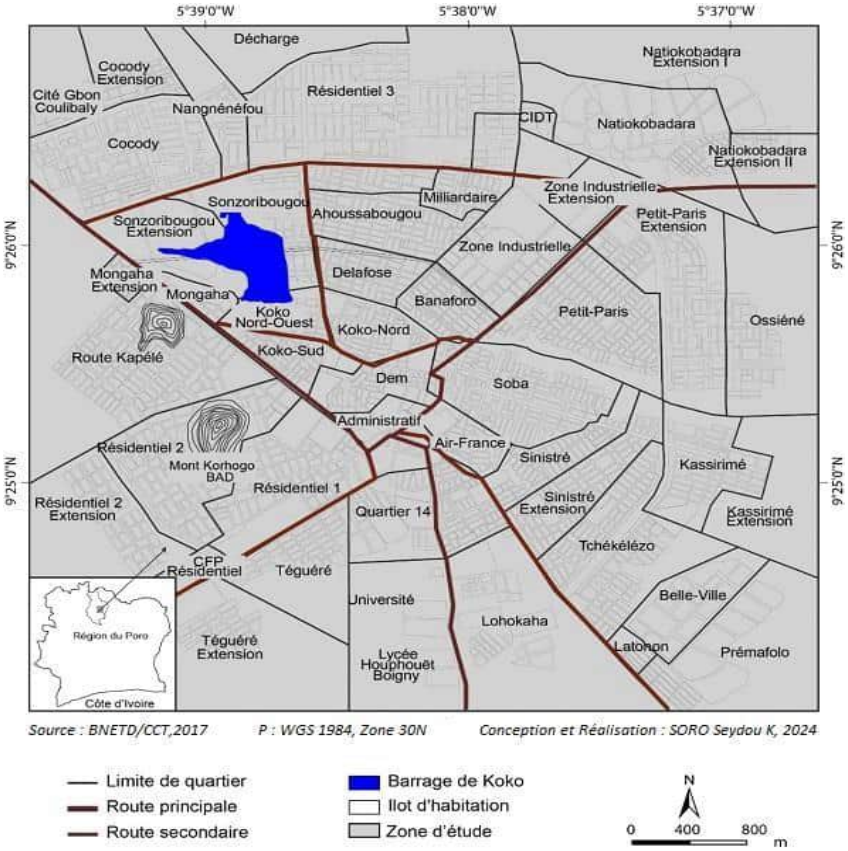


Figure 1. Présentation de la ville de Korhogo

Elle est devenue la quatrième ville du pays en termes de population et d'économie. Elle est à 635 km d'Abidjan, et chef-lieu du District des Savanes et de la Région du Poro. (Pierre Kipré, 1985) cité par SORO Seydou (2021, p.13). Elle est à la fois, une commune, un chef-lieu de sous-préfecture et de département, mais également le chef-lieu de la région du Poro et du District des Savanes. L'enquête est menée de Juin 2024 à Février 2025. Cet article s'appuie par conséquent sur les résultats de ce travail de recherche de terrain.

1. Cadre méthodologique

Deux cents quatre-vingt-cinq ménages ont été interrogés au sein de la ville de Korhogo compte tenu du nombre de ménages enregistré selon le dernier recensement général de la

population et de l'habitat de 2021 qui est 81.738 ménages. La méthode de Fisher est utilisée pour la détermination de la taille de l'échantillon. Le test de « khi-deux » est un test statistique permettant de tester l'adéquation d'une série de données à une famille de lois de probabilités ou de tester l'indépendance entre deux variables aléatoires (jules et al 2015, cités par Hammou Djallal Rafik, 2015, p.70). Dans le cadre de notre étude il s'agit de chercher la corrélation entre les variables Niveau d'instruction et la perception de la variabilité climatique et du risque naturel relatives à notre étude. A la base, il y a la formulation d'hypothèses, au nombre de deux. La première est l'hypothèse nulle ou hypothèse zéro, notée H0. La deuxième est la contre hypothèse notée H 1. Dans le cas où, il existe un lien entre deux variables, il est crucial de déterminer la force du lien. Pour ce faire, nous considérons le coefficient de contingence de Cramer. Si le résultat est proche de : [0 - 025[: Alors on a un lien statistique nul entre les deux variables, [0,25 – 0,50[: Alors on a un lien statistique faible entre les deux variables, [0,50 – 0,75[: Alors on a un lien statistique moyen entre les deux variables, [0,75 – 1[: Alors on a un lien statistique fort entre les deux variable et 1 et + : Alors on a un lien statistique très fort entre les deux variables. L'étude des aléas naturels s'aborde ici en s'appuyant sur le modèle suivant (Figure 2).

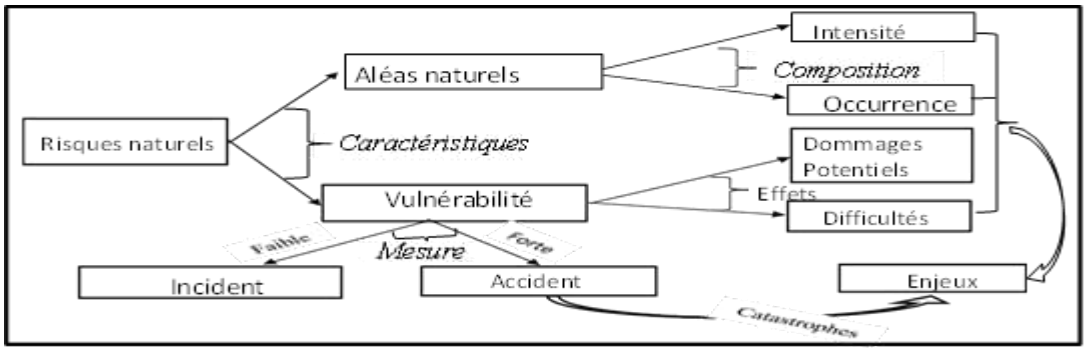


Figure 2. Interactions entre les composantes du risque naturel

Source : Pensé et conçu par GOGOUA Gbamain Eric (2022)

Ce modèle montre la relation entre le risque naturel et ses caractéristiques qui sont l'aléa naturel et la vulnérabilité. En effet, l'aléa naturel composé d'intensité et d'occurrence peut impacter l'homme et ses biens (enjeux) ainsi que la vulnérabilité. La vulnérabilité est forte lorsque le risque est susceptible de générer des accidents on parle de catastrophes et elle est faible lorsqu'il peut provoquer des incidents.

2. Résultats

2.1. Le niveau d'instruction des enquêtés et l'aléa le plus craint

Notre étude nous a permis de mener une enquête auprès de la population. Elle a pris plusieurs éléments parmi lesquels figure le niveau d'instruction. La figure 3 ci-dessous traduit les résultats obtenus

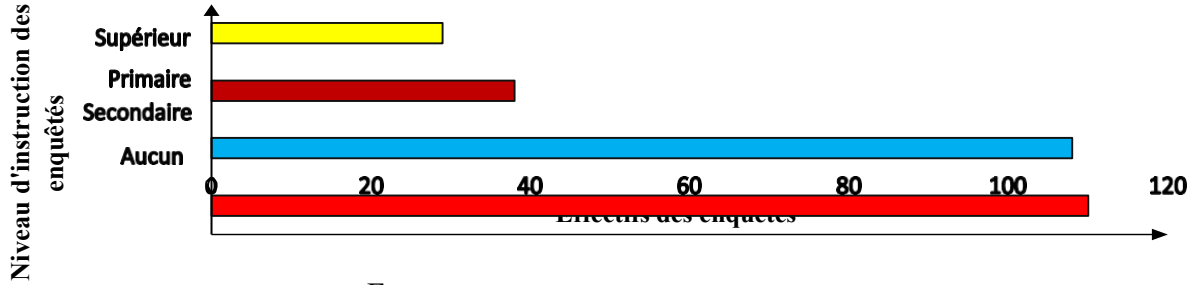


Figure 3. Niveau d'instruction des enquêtés

La figure permet de distinguer quatre niveaux d'instruction des enquêtés notamment les niveaux Supérieur, Primaire, Secondaire et Aucun. Le niveau d'instruction le plus élevé est aucun. Également, les enquêtés sont interrogés sur l'aléa le plus craint. Les résultats sont traduits dans la figure 4 ci-après.

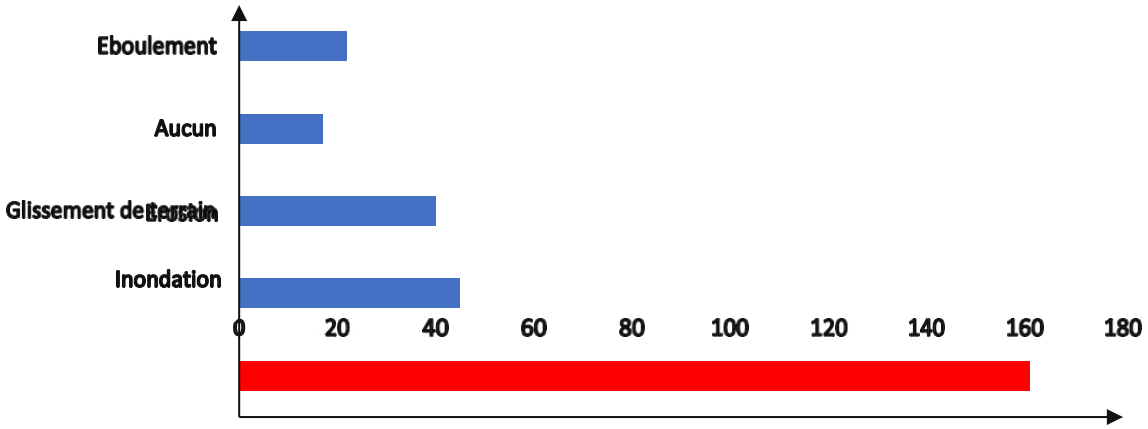


Figure 4. L'aléa le plus craint selon les enquêtés

Les aléas naturels présents dans la ville de Korhogo sont les mouvements de masse (éboulement, éboulis), l'érosion et l'inondation. Le plus craint par les populations est celui de l'inondation. D'autres affirment également ne rien craindre.

2.2. Corrélation entre le niveau d'instruction et la perception de la variabilité climatique et du risque naturel

Il s'agit de chercher à savoir s'il existe un lien entre le niveau d'instruction et la perception de la variabilité climatique et du risque naturel. Les variables Niveau d'instruction et la perception du lien entre la variabilité climatique et le risque naturel sont mis en contribution. Un test de Khi 2 s'avère indispensable. Le tableau 1 ci-dessous contient des effectifs observés.

Tableau 1. Les effectifs observés

	Perception entre la variabilité climatique et le risque naturel		
Niveau d'instruction des enquêtés	**Oui**	**Non**	**Total**
Aucun	33	77	110
Primaire	31	7	38
Secondaire	94	14	108
Supérieur	23	6	29
Total	**181**	**104**	**285**

Source : Enquête de terrain, 202

L'hypothèse nulle (H0) stipule qu'il n'existe pas de corrélation entre le niveau d'instruction des enquêtés et la perception de la variabilité climatique et du risque naturel. La contre hypothèse (H1), quant à elle soutient qu'il existe de corrélation entre le niveau d'instruction des enquêtés et la perception de la variabilité climatique et les risques naturels. Ce qui permet d'établir le tableau des effectifs théoriques (Tableau 2).

Tableau 2. Les effectifs théoriques

	Lien entre la variabilité climatique et le risque naturel		
Niveau d'instruction des enquêtés	**Oui**	**Non**	**Total**
Aucun	69,86	40,14	110
Primaire	24,13	13,87	38
Secondaire	68,59	39,41	108
Supérieur	18,42	10,58	29
Total	**181**	**104**	**285**

Source : Enquête de terrain, 2024

Les tableaux des effectifs observés et celui des effectifs théoriques, ils permettent de calculer le Khi 2 (Tableau 3).

Tableau 3. Khi 2 calculé

	Lien entre la variabilité climatique et le risque naturel		
Niveau d'instruction des enquêtés	**Oui**	**Non**	**Total**
Aucun	19,45	33,85	53,3
Primaire	1,96	3,40	5,36
Secondaire	9,41	16,4	25,81
Supérieur	1,14	2	3,14
Total	**31,96**	**55,65**	**87,61**

Source : Enquête de terrain, 2024

Le Khi 2 calculé est de 87,61. Le seuil utilisé est α = 5%. Quant au degré de liberté, il se détermine à partir de la formule suivante : (Nombre de ligne – 1) X (Nombre de colonne – 1). Application numérique : (4 – 1) x (2-1) = 3. A partir du tableau de contingence, le khi 2 critique est : 7, 8147. Le Khi 2 calculé est supérieur au Khi 2 critique, alors on rejette le H0. Il existe donc un lien entre le niveau d'instruction des enquêtés et la perception de la variabilité climatique et du risque naturel. Cela signifie qu'au regard du niveau d'instruction, les populations ont une meilleure perception du lien qui existe entre la variabilité climatique et les risques naturels dans la ville de Korhogo. La détermination du coefficient de contingence de Cramer se fait selon la formule suivante : $\sqrt{\frac{X2}{n\,(k-1)}}$. V = avec n = la taille de l'échantillon, K = le nombre de modalité de la variable qui en a le moins. n = 285, k = 2-1 et Khi 2 = 87,61. Application numérique : V= 0,55. Notre Coefficient de contingence de Cramer étant de 0,50 donc proche de 0,75, nous pouvons dire que le lien qui existe entre le niveau d'instruction et la perception du lien de la variabilité climatique et le risque naturel est moyen.

2. Discussion

Ce travail a été mené sur la base de questionnaire véritablement pour recueillir les perceptions des populations sur la variabilité climatique et le risque naturel. Pour mener à bien cette enquête, l'échantillon est calculé sur la base de la méthode de Fisher. Sur deux cent quatre-vingt-cinq, deux cent soixante-huit admettent la présence de risque naturels amplifiée par la variabilité climatique. Ces risques sont entre autres les aléas d'inondation, d'éboulement,

d'éboulis et d'érosion. Par ailleurs, à travers cette étude les enquêtés soutiennent craindre le risque d'inondation le plus. Ces résultats sont conformes à ceux de TAPE (S.P, 2015, 289 p.) lorsqu'elle affirme « *La complexité du site, l'abondance de la pluviosité et la présence de cours d'eau importants dans la ville côtière de Sassandra ont engendré des inondations et des risques avérés d'inondation et d'éboulement de terrains* ».

Quant à la question de l'existence du lien entre la variabilité climatique et le risque naturel dans la ville de Korhogo, cent quatre-vingt-sept enquêtés affirment qu'il existe un lien et quatre-vingt-dix-huit affirment le contraire. En effet, c'est dans le même ordre quand Meur-Férec C. 2006 (cité par Nicolas VERLYNDE, 2018, p.279), que la perception du risque n'a pas de définition unique sur le plan scientifique, elle dépend de la compréhension personnelle du risque chez l'individu. En clair, le niveau d'instruction impacte fortement la compréhension, la connaissance de la variabilité climatique, des aléas naturels. La difficulté s'est située au niveau de l'administration du questionnaire. La grande partie des enquêtés n'ayant pas un niveau d'instruction ou un niveau primaire, la compréhension du sujet abordé paraissait complexe souventes fois. Cette situation soulève le problème de compréhension, d'éducation des notions de variabilités climatique, de risques naturels et de leur lien qui font parties intégrantes du quotidien des populations. Cela impacte non seulement le cadre des vies de populations mais également les activités agricoles. Ces risques perturbent les cycles agricoles et constituent une grande menace pour la sécurité alimentaire. Ces populations remplissent des sacs de sables pour lutter contre les inondations généralement.

Conclusion

La perception de la variabilité climatique et du risque naturel dans la ville de Korhogo est une question cruciale. Cet article a abordé non seulement la question de la corrélation entre la variabilité climatique et le risque naturel dans la ville de Korhogo, au nord de la Côte d'Ivoire, mais également la contribution de l'éducation dans la compréhension desdits phénomènes. L'intérêt d'une telle étude réside dans le fait qu'elle contribue à mettre des données à la disposition de la science, mais également à faciliter l'établissement des politiques de développement durable dans un contexte de manifestations d'aléa naturel. La prise en compte de la perception de la population permet donc de lutter efficacement contre les fléaux naturels afin de réduire la vulnérabilité et de préserver efficacement la santé de la population.

Bibliographie

Brou Kamenan Marcel, 2015 ; Thèse de Doctorat unique de géographie à l'Institut de Géographie Tropicale, Croissance urbaine et risques naturels en milieu de montagne : l'exemple de Man (Côte d'Ivoire), p 23.

Meur-Férec C. De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe. Habilitation à diriger des recherches, géographie. Nantes : université de Nantes, 2006.

SORO Seydou Kadodjomon ; Fabrication artisanale de savon « *kabakrou* » : dégradation de l'environnement et risque sanitaire dans la ville de Korhogo, Mémoire de Master à l'UPGC-K, 2021, pp.13.

TAPE (S. P.), 2015. « Problèmes de développement et recommandations pour une gestion durable des villes littorales du Sud-ouest », in *Aménagement et gestion des villes côtières du Sud-ouest ivoirien,* Tome 2, Editions Universitaires Européennes, Saarbrücken, Allemagne, 289 p.

RGPH-2021 RÉSULTATS GLOBAUX

WWW.7INFO.CI consulté le 09 mars 2025

PANORAMA DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN FRANCE (2001-2024)

Régis JUVANON DU VACHAT
Météo & Climat, 73 Avenue de Paris, 94160 Saint Mandé Cedex, rjduvachat@gmail.com

Résumé *: On rappelle la définition de l'adaptation au changement climatique, par rapport à l'atténuation, qui consiste à agir pour réduire le contenu de l'atmosphère en gaz à effet de serre. De ce fait l'adaptation a un caractère local et concerne les impacts du changement climatique. L'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) a défini une stratégie (2007), a exploré cette problématique dans de nombreux secteurs (santé, villes, outre-mer, littoral, forêt, ...) et a proposé une méthodologie basée sur la prospective et la participation des acteurs (2022). Le ministère chargé de l'environnement a défini deux plans d'action (2011-2015) et (2018-2022) pour encadrer cette action et en 2019 le Sénat a alerté sur l'urgence de l'adaptation pour la France en 2050. Cet article présente ce tour d'horizon de 25 ans d'adaptation en France.*

Mots clés *: Changement climatique, impacts, adaptation, plan*

Abstract *: The definition of Adaptation to climate change is recalled. It differs from mitigation of climate change which addresses the reduction of green-house gases in the atmosphere. Adaptation procedures are local and address the impacts of climate change. The ONERC observatory has developed this activity in France for the following sectors: health, cities, coastal management, forests, overseas territories. A strategy was elaborated (2007) and a methodology has been built using the prospective method with the participation of stakeholders. The Environment Ministry has developed two action plans for (2011-2015) and (2018-2022) and the Sénat in its report (2019) alerts to the weaknesses of the actions developed for the adaptation at 2050 range. This article presents 25 years of the history of adaptation in France.*

Key words*: Climate change, impacts, adaptation, action plan*

Introduction

Dans le cadre de la lutte contre les effets néfastes du changement climatique, on distingue suivant la terminologie du GIEC, l'atténuation qui consiste à agir pour réduire le contenu de l'atmosphère en gaz à effet de serre (GES) et l'adaptation qui est la stratégie pour un secteur ou un territoire à s'ajuster aux conditions météorologiques ou climatiques qui résultent du changement climatique. De ce fait, ces opérations sont très différentes : l'atténuation cherche à limiter le contenu en gaz à effet de serre dans l'atmosphère et produit un effet global sur les paramètres du climat (température, hausse du niveau des mers par exemple) alors que l'adaptation a un caractère local au niveau de la méthode et des impacts. La politique s'est longtemps détachée, au moins au niveau conceptuel et international de l'adaptation qui était vue comme un échec de la politique de limitation des émissions (Godard, 2010). Depuis une dizaine d'années et grâce aux travaux de l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) créé en 2001 à l'initiative du sénateur Paul Vergès, l'adaptation a gagné ses lettres de noblesse, même si cette politique reste insuffisante, comme l'ont remarqué les sénateurs R. Dantec et J.-Y. Roux dans un rapport paru en 2019, qui pointait des domaines où l'adaptation était insuffisante : ressources en eau, agriculture et économie de la montagne. Cet article fait l'historique de la politique d'adaptation au changement climatique en France. Il approfondit la notion d'adaptation (§1), fait l'historique de cette action en France (§2), puis développe les nombreux travaux de l'ONERC (§3) en insistant sur les nombreux domaines étudiés, mais aussi la méthodologie utilisée et son application concrète. Enfin il présente la collaboration avec Météo-France (§4) et notamment la trajectoire de référence d'adaptation au changement climatique (TRACC), qui est très utile pour développer la stratégie d'adaptation dans les différents secteurs. Le troisième Plan National d'Adaptation est alors présenté (§5) avant de conclure sur les acquis et les insuffisances de cette politique d'adaptation.

1. Nécessité de l'adaptation et lien avec l'atténuation

Pour le GIEC (2003) l'adaptation est une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. C'est le volume II de l'exercice d'évaluation qui porte sur ce thème "Adaptation, impacts et vulnérabilités". Dans les systèmes humains il s'agit de réduire ou d'éviter les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Dans les systèmes naturels l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu et à ses conséquences. Ainsi l'adaptation peut être vue comme la simple adaptation passive aux changements climatiques inéluctables. Cependant la physique du système climatique a des conséquences importantes. En effet si on arrêtait les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique, du fait de l'inertie du système climatique et de la durée de vie de ces gaz dans l'atmosphère (pour le CO_2 : 120 ans) leurs concentrations continueraient d'augmenter ainsi que la température et le niveau des mers avec une échelle de temps caractéristique. Après réduction des émissions de GES et stabilisation des concentrations atmosphériques, la température de l'air en surface augmenterait pendant un siècle ou plus, comme le montre la figure extraite du troisième rapport d'évaluation du GIEC (IPCC 2003, p. 18, cf. Figure 1 dans Juvanon du Vachat, 2013). Cette figure montre que si on arrêtait les émissions de CO_2 dans 50 ans, la concentration en CO_2 ne se stabiliserait qu'en 100 à 200 ans et la température continuerait à croître, mettant quelques siècles à se stabiliser, tandis que l'élévation du niveau des mers se poursuivrait sous l'effet conjugué de la dilatation thermique (plusieurs siècles, voire un millénaire) et de la fonte des glaciers (quelques millénaires). Ceci démontre la nécessité de s'adapter au changement climatique pendant cette période, même en ayant pratiqué une réduction drastique des émissions de GES.

Sur le plan économique aussi il faut conjuguer simultanément Adaptation et Atténuation. En effet, plus on atténue et moins on a besoin de s'adapter, même si le coût initial est important et décroît avec le temps. En conclusion, il faut garder une vision équilibrée de ces deux actions et les réaliser de façon cohérente. En outre, les projections des modèles climatiques dans le futur sur lesquelles on peut s'appuyer pour réaliser l'adaptation sont nécessairement entachées d'incertitudes. Par ailleurs, les projections climatiques à + 1,5°C ou à + 2°C de réchauffement planétaire moyen pour 2100 présentent des structures très différentes, comme l'a montré le rapport spécial du GIEC sur le réchauffement à 1,5°C paru en 2016, qui a été produit à la suite de l'Accord de Paris (www.ipcc.sr1.5). Enfin au-delà d'un réchauffement de 3°C, on peut craindre d'obtenir des résultats de simulation chaotiques, ce qui entraînerait une impossibilité à s'adapter. C'est ce qui encourage fortement à suivre une trajectoire sobre en carbone, en adoptant une réduction drastique des émissions, comme le recommande le rapport du Sénat sur l'urgence de l'adaptation (Dantec et Roux, 2019). Il faut aussi noter que l'adaptation ne dépend pas uniquement des modèles climatiques, la vulnérabilité et la résilience des territoires sont des données essentielles.

2. Historique de l'adaptation en France

La démarche d'adaptation, enclenchée au niveau national par le ministère chargé de l'Environnement à la fin des années 1990, est complémentaire des actions de limitation des émissions de gaz à effet de serre (atténuation). Elle vise à limiter les impacts du changement climatique et les dommages associés et à profiter des opportunités potentielles. Depuis 2007, la France dispose d'une stratégie nationale d'adaptation au changement climatique qui exprime le point de vue de l'État sur la manière d'aborder la question de l'adaptation au changement climatique. Elle a été élaborée à la suite d'une large concertation menée par l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) avec les différents secteurs d'activité et la société civile. Avec l'objectif de présenter des mesures concrètes et opérationnelles pour préparer la France à faire face aux nouvelles conditions climatiques, la France s'est dotée en 2011 de son premier Plan national d'adaptation au changement climatique

pour une période de 5 ans (2011-2015), fruit d'une vaste concertation qui avait conduit à plus de 200 recommandations. Ce Plan sera par la suite évalué et produira à nouveau des recommandations (ONERC, 2016). Après la COP21, la France a lancé les travaux pour actualiser sa politique d'adaptation en cohérence avec l'Accord de Paris, ce qui a conduit à un deuxième plan d'adaptation pour la période (2018-2022). C'est au cours de cette période, en 2019, que les sénateurs Ronan Dantec et Jean-Yves Roux (2019) ont alerté sur l'urgence de l'adaptation au changement climatique pour la France en 2050, en pointant les domaines : ressources en eau, économie de la montagne et agriculture où les efforts sont insuffisants. Dernièrement, le 10 mars 2025, un troisième plan d'adaptation a été présenté, alors qu'une concertation sur ce plan avait été lancée en octobre 2024, suscitant plus de 600 commentaires. Voici maintenant les travaux de l'ONERC (§3).

3. Travaux de l'ONERC

L'ONERC a été créé par le sénateur de La Réunion Paul Vergès (1925-2016), qui imaginait un Observatoire pour les territoires d'Outre-mer particulièrement touchés par le réchauffement climatique. Lors de la délibération dans les assemblées, il a été étendu à toute la France (métropole et outre-mer) dans la Loi du 19 Février 2001. On retiendra que lors des colloques de l'ONERC, Paul Vergès évoquait avec une certaine inquiétude la croissance immodérée de la population sur l'île de La Réunion, qui représentait une difficulté supplémentaire pour l'adaptation. À cette époque il était président de l'ONERC et Marc Gillet en était le directeur. Les premiers travaux de l'ONERC portèrent sur les évènements extrêmes lors d'un colloque en juin 2003 au Sénat, qui était quasiment prémonitoire, puisqu'une canicule majeure eut lieu en août de la même année, canicule qui va bouleverser notre appréhension des catastrophes climatiques et humaines avec son hécatombe meurtrière. Notons que les événements extrêmes météorologiques ou climatiques, par leur violence et les dégâts physiques et humains qu'ils causent, provoquent des retours d'expérience salutaires, comme lors des tempêtes de décembre 1999 en France, où le système de vigilance météorologique a été introduit. Ce qui a justifié ce premier colloque de l'ONERC sur les événements extrêmes et qui a posé la question de la limite du système assurantiel qui est devenu insuffisant pour couvrir les dommages sans une politique de prévention.

Voici maintenant un historique des activités de l'ONERC sur la période (2001-2023) à travers les rapports au Premier Ministre et au Parlement publiés régulièrement (environ tous les ans). On peut distinguer trois périodes ou thématiques (Tableau 1). Une première période de formation et de définition, où apparaissent des documents, comme "Un climat à la dérive : comment s'adapter ?" en 2005, va culminer en 2007 avec l'élaboration d'une stratégie nationale (ONERC, 2007). Suit l'âge mûr avec la production de rapports sectoriels sur la santé (2007), les villes (2010), l'outre-mer (2013), l'arbre et la forêt (2014), le littoral (2015). Une troisième thématique concerne les plans d'adaptation et la méthodologie jusqu'au rapport Prospective, qui constitue le volume le plus important de la collection (ONERC, 2022). Hors les plans d'adaptation et leur préparation, d'autres thématiques ont été développées comme les solutions fondées sur la nature en 2019, mais aussi le lien avec les évènements extrêmes qui est un thème récurrent (2018) ainsi que les vagues de chaleur (2023). Tous ces documents sont des rapports au Premier Ministre et au Parlement, qui sont publiés à "La documentation Française". Ils sont très structurés avec un résumé pour décideurs et sont très documentés, avec de nombreux intervenants et références. En résumé, ils concentrent l'état de la recherche sur le sujet et ne se prêtent pas facilement à une opérationnalisation directe, ce qui fut d'ailleurs reproché lors d'un conseil d'orientation. Enfin l'ONERC a adressé régulièrement une lettre d'information aux élus locaux afin de les sensibiliser à la question de l'adaptation (jusqu'en 2014).

Étudions alors deux rapports particuliers qui sont structurants : la Stratégie nationale (ONERC, 2007) et la Prospective (2022). La stratégie comporte quatre finalités :(a) Agir pour la sécurité et la santé publique, (b) réduire les inégalités devant les risques, (c) limiter les coûts et tirer parti des bénéfices potentiels, (d) préserver le patrimoine. Elle se réalise à travers neuf axes stratégiques, dont je retiens les trois suivants qui sont majeurs : (e) consolider le dispositif d'observation, (f) sensibiliser tous les acteurs, (g) promouvoir une approche adaptée aux territoires. Cette stratégie se double d'approches transversales sur l'eau, la prévention des risques, la santé et la biodiversité et aussi d'approches par milieux sur la ville, le littoral et la mer, la montagne et la forêt. C'est un document équilibré et exhaustif. Certaines finalités sont naturelles et sont traitées dans des rapports : la santé en 2007 pour (a), et le rapport ONERC de 2009 pour (c). Concernant les axes stratégiques retenus, il faut noter que l'observation concerne non pas des variables météorologiques de base comme la température ou la pluie, mais plutôt des indicateurs. L'ONERC a développé un ensemble d'une trentaine d'indicateurs en collaboration avec les organismes de recherche compétents. Il s'agit par exemple de suivre l'évolution des plantes sous l'effet du climat (phénologie). En ce qui concerne l'axe (f), la démarche Prospective (ONERC, 2022) cherche à faire participer pleinement les acteurs du domaine étudié à travers une gouvernance partagée et la participation des acteurs est essentielle pour la réussite de l'opération. Ce rapport sur la Prospective contient beaucoup d'informations sur cette méthode prospective, qui permet à une organisation de se projeter dans le futur, et l'illustre avec des exemples d'applications dans les régions en France, mais aussi dans les milieux ou les filières économiques, avec des acteurs publics ou privés. Un exemple a été présenté avec la filière laitière française (Juvanon du Vachat, 2023). Il est intéressant de noter que les agriculteurs ou services agricoles participant à l'exercice ont découvert que la crainte de la sécheresse des pâturages n'était pas fondée, mais les risques portaient davantage sur l'impact du stress thermique sur les troupeaux. Enfin concernant l'axe (g), l'ADEME a organisé un concours pour les territoires sur l'adaptation, et le parc naturel du Vercors aux enjeux complexes dus à la montagne a gagné le trophée en 2017.

4. Collaboration avec Météo-France

Pour étudier les impacts climatiques, on effectue souvent des simulations climatiques pour obtenir les scénarios futurs sur la France, ce qui s'apparente à la prévision météorologique. Des simulations climatiques avec les scénarios du GIEC ont été effectuées par Météo-France pour des applications dans des domaines comme la forêt, l'agriculture ou la viticulture, ce qui a rapproché Météo-France de l'ONERC, mais aussi de l'INRA ou de l'ONF. Ceci correspond également aux "Services climatiques", pour lesquels l'OMM a défini un cadre global en 2013. Une étape majeure dans ce contexte a été le développement par Météo-France de la Trajectoire de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) qui a été illustrée lors du colloque "S'adapter face aux extrêmes climatiques, un défi majeur qui s'anticipe" (Juvanon du Vachat et Guillaume, 2025). Cette trajectoire correspond aux étapes suivantes de réchauffement au niveau global et pour la France (plus élevé) : en 2030 (1,5 °C ; 2 °C), 2050 (2°C ; 2,7°C), 2100 (3°C ; 4°C). Ce chiffre de 4°C correspond à ce qui est apparu dans la communication du ministère chargé de l'environnement "Se projeter dans une France à 4°C", ce qui a été largement évoqué lors du colloque précédent pour diverses applications. Cette trajectoire permet à Météo-France de répondre aux projets d'adaptation au changement climatique de filières ou de territoires (Climadiag, "La France s'adapte") en fournissant les scénarios du climat futur.

5. Le troisième Plan National d'Adaptation au Changement Climatique

Le 10 mars 2025 le troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) a été lancé, avec 200 actions concrètes pour adapter la France (outre-mer inclus) aux impacts visibles et attendus du changement climatique. Il suppose la mobilisation des entreprises, des

collectivités et de la société civile et repose sur la trajectoire TRACC présentée au §4 qui représente la référence, jusque sur le plan juridique. Il s'agit de protéger la population et de construire la résilience de la société en transformant nos modes de vie, notre économie, nos infrastructures et nos décisions politiques, pour y intégrer le climat futur, avec 52 mesures nationales et 200 actions concrètes de manière à respecter les échéances de la TRACC. Ce plan est associé à la Programmation pluriannuelle de l'Énergie et à la Stratégie Nationale Bas Carbone (neutralité Carbone en 2050) et le financement repose sur l'abondement du fonds Barnier (300 millions d'euros), du fonds vert (260 millions d'euros), des dotations aux agences de l'eau (1 milliard d'euros) pour les plus grosses dotations.

Conclusion

Ce tour d'horizon montre que l'adaptation au changement climatique, qui a démarré très progressivement en France, s'est implantée très largement dans de nombreux secteurs et territoires, comme l'illustre le rapport Prospective (ONERC, 2022). Les déficiences soulignées par le rapport sénatorial (Dantec et Roux, 2019) restent parfois présentes malgré le lancement du troisième plan d'adaptation. Ce rapport avait indiqué un échéancier temporel précis par rapport à 2050, repris par ce troisième plan. Rappelons aussi que parfois l'adaptation est une solution de sagesse élémentaire comme la recommandation d'une salle réfrigérée dans les maisons de retraite après la canicule meurtrière de 2003 !

Bibliographie

Dantec R. et J.-Y. Roux, 2019 : *Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : urgence déclarée*. Rapport de la Délégation Sénatoriale à la Prospective N° 511, 190 pages

Godard O., 2010 : Cette ambiguë adaptation au changement climatique. *Natures, sciences et société*, **18**, 287-297.

Juvanon du Vachat R., 2013 : Libres propos sur l'adaptation au changement climatique. *Pollution Atmosphérique N° Spécial Climat*, 86-95.

Juvanon du Vachat R., 2023 : Prospective et adaptation au changement climatique en France. *37e Colloque de l'AIC*, Paris, 100-101.

Juvanon du Vachat R. et A. Guillaume, 2025 : Colloque "S'adapter face aux extrêmes climatiques, un défi majeur qui s'anticipe". *La Météorologie*, 8e série N° 128, 46-50.

ONERC, 2007 : *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*. La documentation Française, 96 pages.

ONERC, 2022 : *La prospective au service de l'adaptation au changement climatique*. La documentation Française, 385 pages.

Tableau 1 : Les rapports de l'ONERC (CC : Changement Climatique)

Année	Titre du rapport	Contenu
2005	Un climat à la dérive : comment s'adapter ?	Document exploratoire
2007	Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique	La stratégie de base pour la suite
2007	Changements climatiques et risques sanitaires	Maladies en Europe (leishmaniose, paludisme, dengue, tiques) et outre-mer
2009	Changement climatique. Coût des impacts et pistes d'adaptation	Ressources en eau, risques naturels, santé, agriculture, forêts, énergie, tourisme, transports
2010	Villes et adaptation au changement climatique	Vulnérabilité particulière des villes (population, biens matériels)
2012	L'adaptation de la France au changement climatique	Synthèse et rapport d'étape
2013	Les outre-mer face au défi du changement climatique	Biodiversité, tourisme, pêche, agriculture et élevage, forêts, santé, énergie, risques littoraux
2014	L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change	Effets du changement climatique sur la forêt, gestion forestière et filière bois
2015	Le littoral dans un contexte de changement climatique	Espace à forts enjeux, population, économie, érosion littoral, hausse du niveau de la mer
2016	Adaptation au changement climatique. Evaluation de la démarche nationale et recommandations	Préparation du 2e Plan d'Adaptation
2017	Vers un 2e plan d'adaptation au CC pour la France.	Le 2e PNACC. Enjeux et recommandations
2018	Les événements météos extrêmes dans un contexte de CC	Reprise du Colloque 2003
2019	Des solutions fondées sur la Nature pour s'adapter au CC	Si on laissait la Nature faire le travail !
2022	La prospective au service de l'adaptation au CC	Méthode prospective appliquée à l'adaptation. Nombreux exemples
2023	Les vagues de chaleur dans un contexte de CC	S'adapter à un risque croissant, îlot de chaleur urbain

DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION ET D'UN WEBSIG

Djaha Levix Nadir KOFFI[1], Vami Hermann N'GUESSAN BI[2], Kouadio Justin KONAN[3]

[1]Laboratoire de Télédétection et SIG (LatSIG), CURAT & ED-STAD – Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.levixnadirkoffi@gmail.com

[2]Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT), Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire.vami@outlook.com

[3]Laboratoire de Télédétection et SIG (LatSIG), CURAT & ED-STAD – Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire. justinkouadiokonan@gmail.com

Résumé : Cette étude analyse la dynamique saisonnière du dioxyde d'azote (NO_2) dans le District Autonome d'Abidjan (2019–2023), à partir des données TROPOMI/Sentinel-5P. Les concentrations, interpolées par IDW (100 m) via Google Earth Engine et ArcGIS Pro, ont été intégrées dans un WebSIG interactif. Les résultats montrent un pic à $6{,}014 \times 10^{-5}$ µg/m³ en 2022, accentué durant les saisons sèches. . Ces tendances, liées au climat tropical et aux activités urbaines, augmentent les risques sanitaires. Le WebSIG facilite la surveillance de la qualité de l'air et les politiques de réduction des émissions.

Mots-clés : NO_2, Sentinel-5P, WebSIG, Abidjan

Abstract : This study examines the seasonal dynamics of nitrogen dioxide (NO_2) in the Autonomous District of Abidjan (2019–2023) using TROPOMI/Sentinel-5P data. NO_2 concentrations, interpolated via IDW (100 m) using Google Earth Engine and ArcGIS Pro, were integrated into an interactive WebGIS. Results reveal a peak concentration of 6.014×10^{-5} µg/m³ in 2022, intensified during dry seasons. These trends, driven by tropical climate and urban activities, heighten health risks. The WebGIS enhances air quality monitoring and supports emission reduction policies.

Keywords : NO_2, Sentinel-5P, WebSIG, Abidjan

Introduction

L'urbanisation rapide et l'industrialisation croissante dans les mégalopoles comme Abidjan, centre économique de la Côte d'Ivoire, ont entraîné une augmentation des émissions de dioxyde d'azote (NO_2). Ce polluant, issu des activités routières et industrielles, a des effets néfastes sur la santé publique, contribuant à des maladies respiratoires et cardiovasculaires. En Afrique subsaharienne, où 82 000 décès annuels sont attribuables à la pollution atmosphérique (World Health Organization, 2008), la surveillance reste limitée en raison du coût élevé des réseaux de stations de mesure traditionnelle. Des travaux de validation ont toutefois montré que les concentrations de NO_2 estimées par TROPOMI/Sentinel-5P présentent des corrélations élevées ($r \approx 0{,}75–0{,}85$) avec les mesures in situ, et un biais moyen inférieur à 10 % (Ialongo *et al.*, 2020 ; Verhoelst *et al.*, 2021). Cette performance justifie l'usage de la télédétection spatiale comme complément fiable aux stations au sol, en particulier pour couvrir de vastes zones urbaines et pallier les lacunes des réseaux existants (Zheng *et al.*, 2019). La télédétection via les données Sentinel-5P offre donc une alternative rentable pour estimer les concentrations de NO_2 à l'échelle du District Autonome d'Abidjan. À ce jour, peu d'études se sont focalisées sur la dynamique saisonnière de ce polluant. Cette étude propose d'analyser ces variations sur la période 2019–2023 en combinant la télédétection et un WebSIG interactif. L'objectif est de cartographier les concentrations de NO_2, d'examiner leurs fluctuations saisonnières et de fournir un outil accessible pour visualiser ces données, contribuant ainsi à une meilleure gestion de la qualité de l'air et de ses impacts sanitaires.

1.Zone d'étude, méthodes et données

1.1 Zone d'étude

Le District Autonome d'Abidjan (DAA), créé par le décret n°2011-263 du 28 septembre 2011, est situé sur le littoral sud de la Côte d'Ivoire, entre 5°10' et 5°40' de latitude Nord et 4°30' et 4°60' de longitude Ouest (Figure 1). Couvrant 2 034 km², il englobe la ville d'Abidjan, capitale économique, ainsi que quatre sous-préfectures (Anyama, Bingerville, Brofodoumé, Songon) et dix communes (Abobo, Adjamé, Attécoubé, Cocody, Koumassi, Marcory, Plateau, Port-Bouët, Treichville, Yopougon. Le climat tropical humide d'Abidjan alterne entre deux saisons sèches (décembre-mars et août-septembre) et deux saisons des pluies (avril-juillet et octobre-novembre), avec des précipitations mensuelles variant de 15,7 à 374,1 mm et des températures entre 24,4 et 27,8 °C (Tra Bi, 2020). Cette répartition saisonnière influence la dispersion des polluants atmosphériques, notamment le NO_2. Avec une population de 6,32 millions d'habitants en 2021, le DAA connaît une urbanisation rapide et une intense activité économique, portée par le Port Autonome d'Abidjan (40 % du PIB national). Le réseau routier dense et l'utilisation de carburants Diesel à haute teneur en soufre (5 000 ppm) accentuent les émissions polluantes, contrastant avec les normes européennes (< 50 ppm). Ces facteurs, combinés à une végétation résiduelle comme la forêt du Banco, façonnent un environnement propice à l'accumulation saisonnière de CO et NO_2.

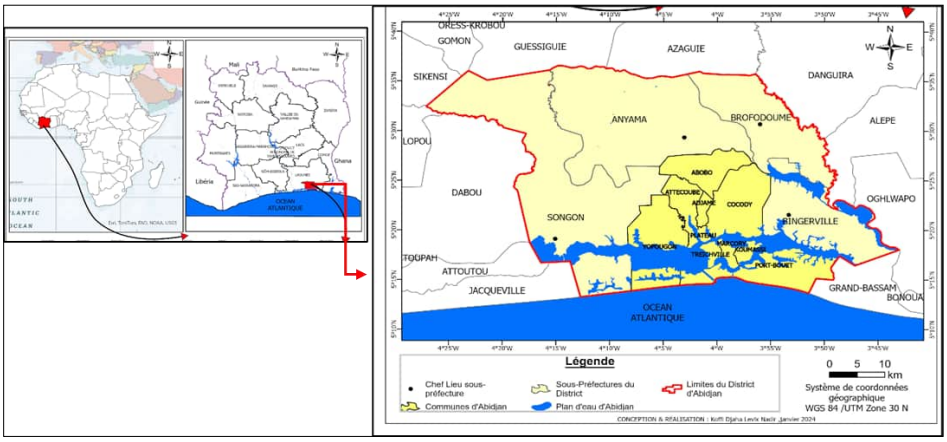


Figure 1. Carte de localisation du District Autonome d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

1.2. Données

Cette étude a été réalisée à partir des données satellitaires issues de Sentinel-5P, un satellite de l'Agence Spatiale Européenne lancé le 13 octobre 2017, dédié à la surveillance atmosphérique. Équipé de l'instrument TROPOMI (Tropospheric Monitoring Instrument), Sentinel-5P mesure les concentrations de polluants comme le dioxyde d'azote (NO_2) avec une résolution spatiale de 7x7 km² et une couverture mondiale quotidienne (Ialongo *et al.*, 2020). TROPOMI, un spectromètre à rétrodiffusion solaire, opère dans les bandes UV-visible (270-500 nm) et infrarouge (675-2385 nm), offrant une précision accrue par rapport aux instruments précédents (Zheng *et al.*, 2019). Les données, extraites de la plateforme Copernicus Open Access Hub (https://browser.dataspace.copernicus.eu/), sont des produits de niveau 2 (colonnes troposphériques totales de NO_2), couvrant le district d'Abidjan de 2019 à 2023. Cette période a été choisie pour capturer les variations saisonnières liées au climat tropical d'Abidjan (saisons sèches/pluvieuses) et les tendances post-Covid, marquées par des fluctuations d'activités humaines. Accessibles librement, ces données compensent l'absence de réseaux de surveillance au sol, permettant une analyse spatio-temporelle détaillée des polluants dans un contexte urbain en développement.

1.3. Méthodes

L'étude de la dynamique saisonnière du NO_2 dans le district d'Abidjan s'appuie sur une méthodologie combinant télédétection, traitement cartographique, analyse statistique et développement d'un WebSIG interactif, comme illustré dans l'organigramme méthodologique (Figure 2). Les données Sentinel-5P (2019-2023), initialement à une résolution spatiale de 7x3,5 km pour le NO_2 (Ialongo *et al.*, 2020) ont été traitées dans Google Earth Engine pour extraire les concentrations de ces polluants, en les filtrant par période (annuelle et saisonnière : grande saison sèche de décembre à mars, petite saison sèche d'août à septembre, grande saison des pluies d'avril à juillet, petite saison des pluies d'octobre à novembre) et par zone géographique, avant de calculer des moyennes pour chaque période. Pour obtenir des cartes à haute résolution (100 m) adaptées à une analyse locale fine, une interpolation par Distance Inverse Pondérée (IDW) a été appliquée dans ArcGIS Pro : cette méthode, proposée par Shepard(1968), estime les concentrations en pondérant les points connus selon leur proximité via l'interpolation par distance inverse pondérée (IDW), donnant plus de poids aux points proches, ce qui permet de capturer les variations spatiales locales du NO_2 tout en passant d'une résolution moyenne à une résolution fine. Cependant, cette méthode peut lisser certaines variations abruptes, introduisant des incertitudes, notamment dans les zones à forte hétérogénéité spatiale, telles que les interfaces urbaines-rurales ou les zones industrielles d'Abidjan. Ces incertitudes, bien que non quantifiées dans cette étude, sont reconnues comme une limite inhérente à l'IDW, particulièrement dans les contextes urbains complexes (Fontes et Barros, 2010 ; Zheng *et al.*, 2019). Les cartes ainsi générées ont été analysées statistiquement dans Excel pour extraire les moyennes saisonnières et annuelles, révélant les tendances, notamment les pics en saison sèche. Enfin, un WebSIG interactif a été conçu en transformant ces cartes en fichiers web (HTML, CSS, JavaScript), stockés de manière optimisée, puis intégrés dans une interface utilisateur dotée d'une carte dynamique, d'un panneau de contrôle pour sélectionner polluant et période, d'une légende des concentrations, et de fonctionnalités de requêtes, offrant une visualisation intuitive des variations spatio-temporelles des polluants à Abidjan.

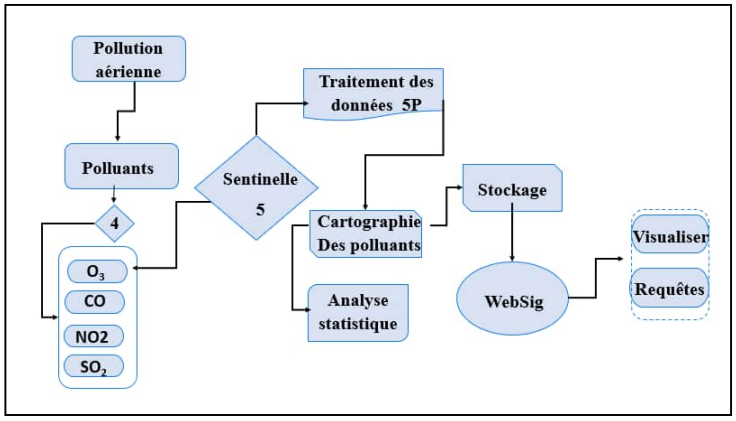


Figure 2. Organigramme méthodologique pour étudier la variation saisonnière et la répartition spatiale des polluants atmosphériques dans le district d'Abidjan.

2. Résultats

2.1. Analyse spatiale des concentrations de NO_2

Le dioxyde d'azote (NO_2) est un gaz issu de la combustion de combustibles fossiles notamment dans les transports routiers et l'industrie et contribue à la formation d'ozone troposphérique et de particules fines. La Figure 3 montre que, de 2019 à 2023, les plus fortes concentrations de NO_2 se trouvent systématiquement dans les communes d'Abobo, Adjamé, Attécoubé, Cocody, Koumassi, Marcory, Plateau, Port-Bouët, Treichville et Yopougon, avec des « points chauds » exacerbés durant les grandes et petites saisons sèches. Les pluies atténuent

partiellement ces teneurs, mais les foyers urbains restent marqués. Les valeurs extraites de ces cartes ont alimenté les histogrammes annuels et saisonniers (Figures 4 et 5), révélant une évolution cyclique liée aux variations climatiques et aux activités humaines. Ces résultats, bien que robustes, peuvent être affectés par des incertitudes liées à l'interpolation IDW, notamment dans les zones à forte hétérogénéité spatiale (Fontes & Barros, 2010). Ces représentations spatiales servent à cibler précisément les secteurs où l'on doit concentrer la surveillance et les actions correctives. Sur le plan sanitaire, l'exposition prolongée à ces zones de forte pollution, particulièrement dans les quartiers centraux densément peuplés, accroît le risque d'exacerbation des pathologies respiratoires aigües, telles que l'asthme et les bronchites, affectant surtout les populations vulnérables (enfants, personnes âgées), et contribue à long terme à une hausse des maladies cardiovasculaires, augmentant la morbidité et la mortalité dans ces zones.

Environnementalement, l'accumulation de NO_2 favorise la formation d'ozone troposphérique, aggravant le smog photochimique, et contribue à l'acidification des sols et lagunes d'Abidjan, menaçant les écosystèmes aquatiques à long terme. Sur le plan sociétal et économique, cette pollution entraîne des coûts importants, via l'absentéisme, la hausse des dépenses de santé et une baisse de productivité urbaine dans les communes clés d'Abidjan. Ces impacts soulignent l'urgence de mesures comme le développement de transports durables, la création de zones à faibles émissions et l'adoption de technologies industrielles moins polluantes, pour réduire les risques sanitaires, protéger l'environnement et soutenir le développement socio-économique durable.

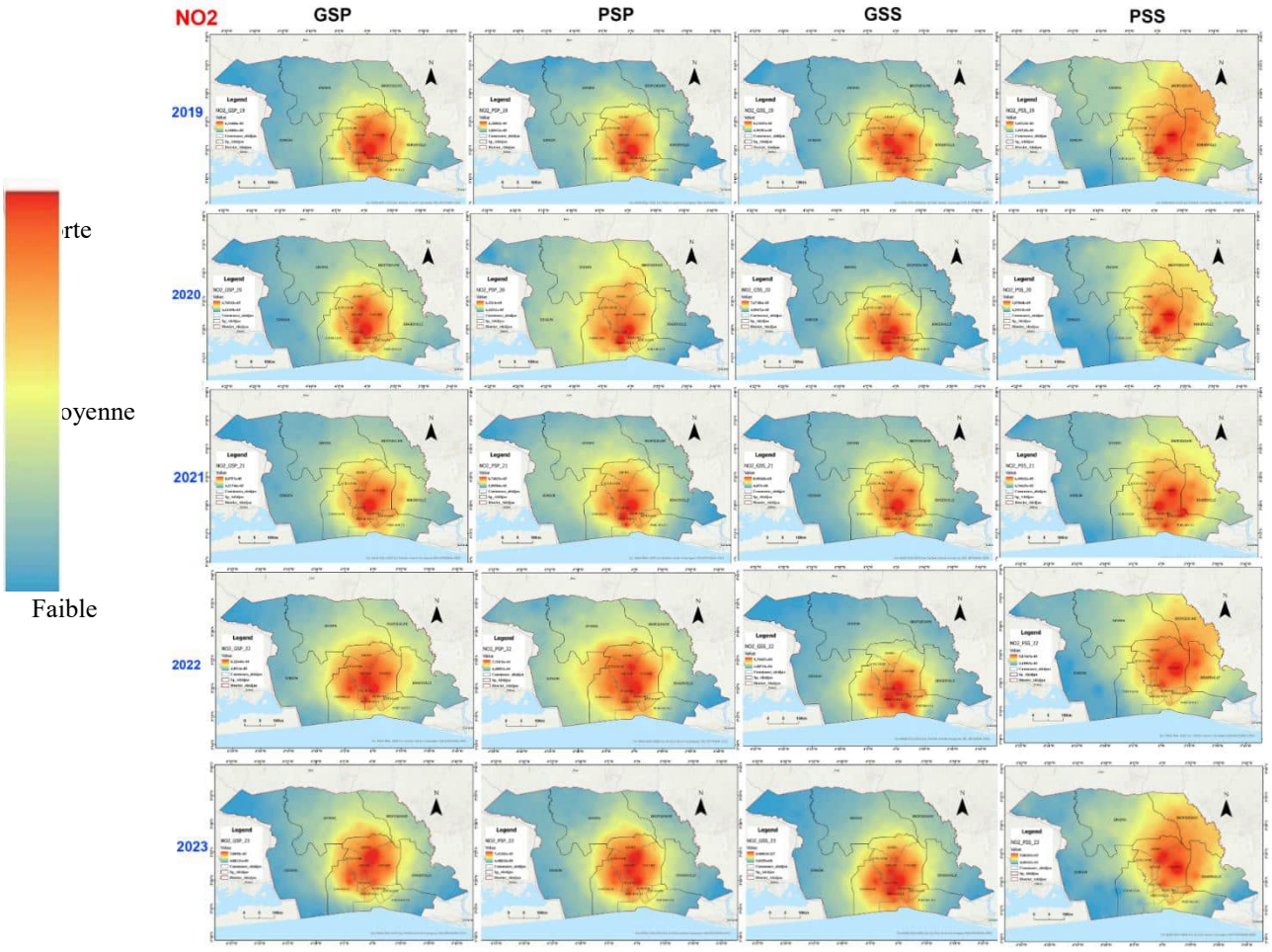


Figure 3. Cartes de la moyenne saisonnière des concentrations de NO_2 dans le district d'Abidjan (2019-2023).

Les concentrations de NO_2 à Abidjan (2019-2023) montrent des tendances distinctes (Tableau 1). Annuellement, Le NO_2 augmente de 2019 (4,999E-05 µg/m³) à 2022 (6,014E-05 µg/m³), due à des émissions industrielles et routières, avant une stabilisation en 2023, liée à des améliorations technologiques (Figure 4). Saisonnièrement, les histogrammes (Figure 5) indiquent des niveaux de NO_2 élevés en GSS et PSS, réduits en 2023 par des pluies. Ces tendances accroissent les risques respiratoires nécessitant une gestion saisonnière.

Tableau 1. Moyennes annuelles des concentrations de NO_2 dans le district d'Abidjan (2019-2023)

Année	Moyenne NO_2 (µg/m³)
2019	4,999E-05
2020	5,131E-05
2021	5,782E-05
2022	6,014E-05
2023	5,870E-05

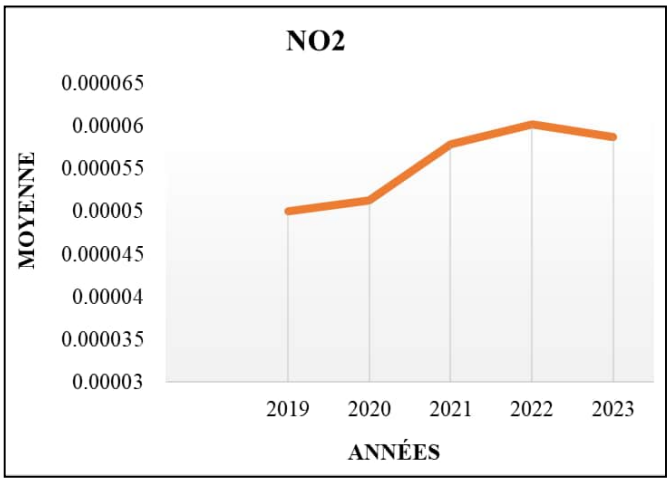


Figure 4. Évolution des émissions annuelles moyennes de NO_2 dans le district d'Abidjan (2019-2023)

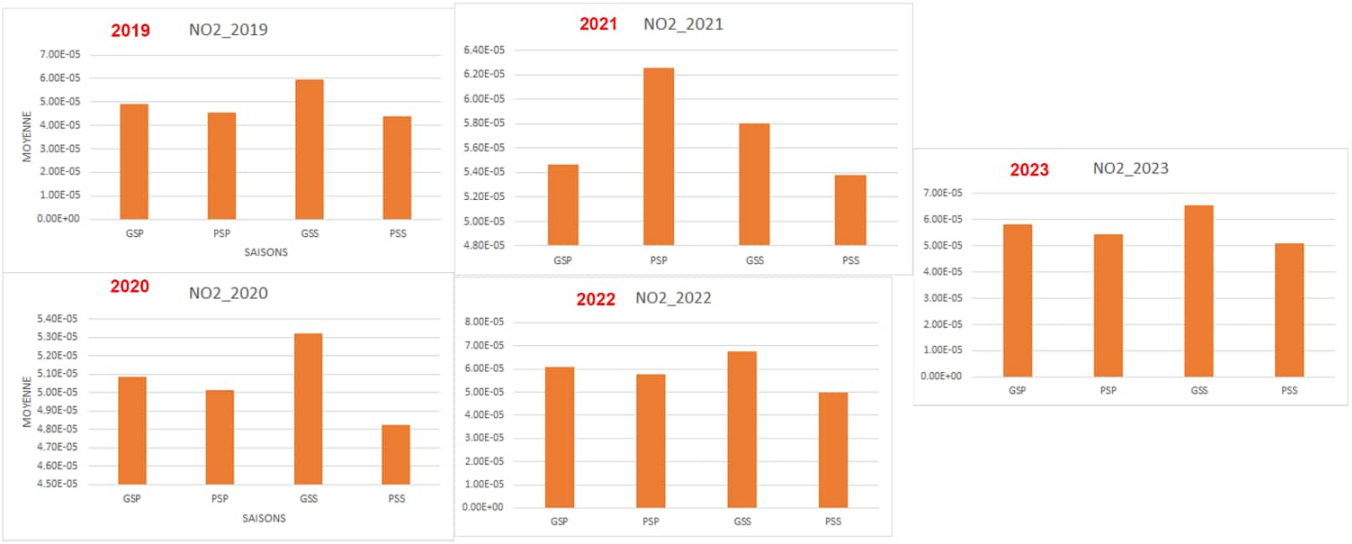


Figure 5. Histogrammes des moyennes saisonnières des concentrations de NO_2 dans le district d'Abidjan (2019-2023).

2.3. Plateforme WebSIG

Une plateforme WebSIG interactive a été développée pour visualiser les concentrations de NO_2 dans le District Autonome d'Abidjan. Accédez à https://nadir02.github.io/poluant_No2/ et cliquez sur l'onglet WebSIG en haut de la page. Ensuite, dans les filtres, choisissez NO_2, l'année et la saison souhaitées, puis cliquez sur Afficher pour charger la carte interactive. Les concentrations sont représentées par un dégradé de couleurs (bleu : faible, rouge : élevé), et des graphiques à barres permettent de comparer les niveaux saisonniers (par exemple, NO_2 en

grande saison sèche). Cette interface facilite l'accès aux données pour les décideurs et le grand public.

3. Discussion et conclusion

Cette étude sur la dynamique saisonnière du NO_2 dans la mégalopole d'Abidjan contribue à une meilleure compréhension des processus atmosphériques en milieu urbain tropical. Les données Sentinel-5P (résolution 7x3,5 km) ont permis une cartographie précise des concentrations de NO_2, surpassant les méthodes traditionnelles comme MODIS (10 km), notamment dans une région dépourvue de réseaux de surveillance au sol (Ialongo et al., 2020). Comparées aux études basées sur des réseaux de stations au sol, les données Sentinel-5P montrent une corrélation élevée ($r \approx 0,75–0,85$) avec les mesures in situ pour le NO_2, avec un biais moyen inférieur à 10 %, confirmant leur fiabilité pour capturer les tendances saisonnières malgré des limites en résolution temporelle (Ialongo et al., 2020; Verhoelst *et al.*, 2021). L'intégration d'un WebSIG interactif renforce l'originalité de l'approche, offrant une visualisation dynamique des variations spatio-temporelles, essentielle pour guider les politiques de gestion de la qualité de l'air (Zheng et al., 2019). Les concentrations maximales de NO_2 ($6,014 \times 10^{-5}$ µg/m³ en 2022) sont inférieures à celles de mégapoles comme Pékin, mais confirment des tendances saisonnières similaires, avec des pics en saisons sèches (grande saison sèche et petite saison sèche) dus à une dispersion réduite et à une activité humaine accrue, influencées par le climat équatorial d'Abidjan. Ces niveaux élevés, particulièrement dans les zones centrales, exacerbent les risques sanitaires (maladies respiratoires), soulignant l'urgence de mesures ciblées dans les secteurs des transports et de l'industrie.

Cette étude a mis en évidence la dynamique saisonnière du NO_2 à Abidjan (2019-2023), avec des pics en 2022 pour le NO_2 (6,014E-05 µg/m³), exacerbés en saisons sèches par le climat tropical et les activités urbaines. L'utilisation des données Sentinel-5P, traitées via Google Earth Engine et ArcGIS Pro, et intégrées dans un WebSIG interactif, a permis une cartographie précise et une visualisation accessible des concentrations, facilitant la surveillance de la qualité de l'air. Ces résultats soulignent la nécessité de mesures de réduction des émissions pour protéger la santé publique. À l'avenir, l'intégration de l'intelligence artificielle pour l'analyse des données et le développement d'une application mobile d'alerte en temps réel pourraient renforcer la gestion de la pollution à Abidjan et dans d'autres villes africaines.

Bibliographie

Fontes, T., & Barros, N. (2010). Interpolation of air quality monitoring data in an urban sensitive area: The Oporto/Asprela case. Edições Universidade Fernando Pessoa, 1–10. https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/2334

Ialongo, I., Virta, H., Eskes, H., Hovila, J., & Douros, J. (2020). Comparison of TROPOMI/Sentinel-5 Precursor NO_2 observations with ground-based measurements in Helsinki. Atmospheric Measurement Techniques, 13(1), 205–218. https://doi.org/10.5194/amt-13-205-2020

Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. Proceedings of the 1968 23rd ACM National Conference, 517–524. https://doi.org/10.1145/800186.810616

Verhoelst, T., et al. (2021). Ground-based validation of the Copernicus Sentinel-5P TROPOMI NO_2 measurements with the NDACC ZSL-DOAS, MAX-DOAS and Pandonia global networks. Atmospheric Measurement Techniques, 14(1), 481–510. https://doi.org/10.5194/amt-14-481-2021

World Health Organization. (2008). The world health report 2008: Primary health care now more than ever. World Health Organization.

Zheng, T., Yang, J., Wu, D., & Marinello, F. (2019). Spatial variation of NO_2 and its impact factors in China: An application of Sentinel-5P products. Remote Sensing, 11(16), 1939. https://doi.org/10.3390/rs11161939

CARACTÉRISATION SPATIALE DU CONFORT THERMIQUE DIURNE EN MILIEU URBAIN : APPLICATION DE LA TEMPÉRATURE OPÉRATIVE SUR LES COMMUNES DE GRENOBLE ET ÉCHIROLLES (FRANCE)

Thomas LAGELOUZE[1,2], Sandra ROME[1], Julia HIDALGO[2], Sylvain BIGOT[1]

[1] Univ. Grenoble Alpes, Institut des Géosciences de l'Environnement (UMR 5001, Univ. Grenoble Alpes – CNRS – INRAE – IRD – Grenoble INP), IGE, CS 40700 - 38058 Grenoble Cedex 9 – France. [thomas.lagelouze@univ-grenoble-alpes.fr]

[2] Centre National de la Recherche Scientifique, Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (UMR 5931, Université de Toulouse-CNRS-EHESS-ENSFEA), LISST, 31058 Toulouse – France.

Résumé *: Cette étude analyse spatialement le confort thermique des communes de Grenoble et Échirolles durant la canicule en région Auvergne Rhône-Alpes du 11 au 26 août 2023, en utilisant l'indice de la température opérative (To). L'estimation de la To repose sur trois modèles physiques éprouvés (SOLWEIG, URock, TARGET), forcés par des données géographiques (IGN) et atmosphériques (ERA-5) disponibles en libre accès. Le résultat est un indice composite de température avec une résolution spatiale fine (1m), permettant d'identifier les zones les plus chaudes, principalement situées dans les espaces fortement bâtis (LCZ 2-3…).*

Mots-Clés *: confort thermique humain, Température opérative (To), extrême de température, milieu urbain*

SPATIAL CHARACTERIZATION OF DAYTIME THERMAL COMFORT IN AN URBAN ENVIRONMENT: APPLICATION OF OPERATING TEMPERATURE TO THE TOWNS OF GRENOBLE AND ÉCHIROLLES (FRANCE)

Abstract: *This study spatially analyzes thermal comfort in the municipalities of Grenoble and Échirolles during the heatwave in the Auvergne-Rhône-Alpes region from August 11 to 26, 2023, using the Operative temperature index (Ot). The estimation of Ot is based on three well-established physical models (SOLWEIG, URock, TARGET), driven by open-source geographic (IGN) and atmospheric (ERA-5) data. The result is a composite temperature index with high spatial resolution (1m), allowing the identification of the hottest areas, mainly located in densely built-up spaces (e.g. LCZ 2-3).*

Keywords*: Human thermal comfort, Operative temperature (To), extreme temperature, urban area*

Introduction

L'étude du confort thermique s'intéresse aux interactions complexes entre l'individu et son environnement thermique, impliquant à la fois des réactions physiologiques et psychologiques. Il se définit comme un état d'esprit reflétant une satisfaction vis-à-vis de l'environnement thermique (ANSI/ASHRAE 55:2023). Depuis le début du XXe siècle, cette thématique a pris une importance croissante au sein de la communauté scientifique (Migliari *et al*., 2022) et constitue aujourd'hui un domaine central de la biométéorologie, notamment en raison des impacts sanitaires et sociaux des vagues de chaleur, particulièrement marqués en milieu urbain (IPCC, 2021). L'évaluation du confort thermique repose sur des indices composites intégrant ses multiples dimensions. À ce titre, De Freitas *et al*., (2015) recensent pas moins de 165 indices développés, chacun fondé sur un modèle spécifique selon l'interprétation adoptée du confort thermique.

Cette étude a pour objectif d'analyser spatialement et physiquement le confort thermique diurne au sein des zones urbaines en période de vague de chaleur. En s'appuyant sur un cas concret, elle propose une réflexion sur le choix d'un indice de confort thermique approprié audit objectif, tout en évaluant sa mise en œuvre, son applicabilité et sa pertinence par rapport à la

problématique principale. Cette approche s'intègre dans un cadre plus large, visant à inclure cet indice dans les modèles d'évaluation de la vulnérabilité sociale à la chaleur, déjà initiés pour analyser la phase nocturne des espaces urbains à travers la variable de l'Îlot de Chaleur Urbain (ICU ; Lagelouze *et al*., 2024).

1. Matériels et méthodes

1.1. Choix de l'indice de confort thermique approprié

La Métamatrice du confort thermique, une méthodologie graphique développée par Migliari *et al*. (2022), a été employée afin de sélectionner un indice approprié aux enjeux spécifiques de cette étude. Dans cette optique, l'accent a été mis sur un indice principalement fondé sur les aspects physico-climatiques, privilégiant ainsi la description des conditions thermiques de l'environnement plutôt que l'analyse des réponses physiologiques ou des perceptions subjectives du confort thermique, qui nécessitent des équipements ou des dispositifs organisationnels complexes à mettre en œuvre et à généraliser. L'application de cette méthodologie a permis d'identifier neuf indices potentiellement sélectionnables, parmi lesquels la Température opérative (To) a été retenue. Ce choix repose sur plusieurs considérations, notamment son utilisation éprouvée depuis près d'un siècle, ainsi que l'abondance des références scientifiques et normatives disponibles à son sujet. En particulier, son protocole de mise en œuvre en environnement intérieur est précisément détaillé par la norme américaine ANSI/ASHRAE 55:2023 internationalement employée, assurant ainsi une application rigoureuse et standardisée.

Bien que développée initialement pour l'évaluation du confort thermique en environnement intérieur, la To peut également être appliquée en conditions non-stationnaires tels que les milieux urbains. Cette extension est rendue possible par l'évolution des variables climatiques/physiques prises en compte depuis son élaboration dans les années 1930. Plus précisément, l'adaptation des coefficients d'échanges thermiques par convection et par rayonnement, remplacés par l'intégration de la vitesse du vent (Équation 1), permet d'ajuster son utilisation aux environnements extérieurs.

$$To = AT_a + (1 - A)T_{mrt}$$

Où :

T_a = Température de l'air (°C)

T_{mrt} = Température moyenne radiante (°C)

A peut être sélectionné parmi les valeurs suivantes en fonction de la vitesse de l'air V_a (m/s).

v_a	<0,2 m/s	[0,2 ; 0,6[	[0,6 ; 1]	>1
A	0,5	0,6	0,7	$0{,}25\,V_a + 0{,}45$

Équation 1. Calcul de la Température opérative (To).

1.2. Territoire d'étude

La zone étudiée correspond aux communes de Grenoble et d'Échirolles, situées au sein de la région Auvergne Rhône-Alpes dans le département de l'Isère en France métropolitaine (Figure 1) et rattachées à l'intercommunalité Grenoble-Alpes Métropole. Elles comptent une population d'environ 195 mille habitants. Bâties en fond de vallée à l'ouest de l'arc alpin, en amont de la confluence du Drac et de l'Isère, les deux villes sont bornées par le massif de la

Chartreuse au Nord, de la Chaîne de Belledonne à l'Est et du massif du Vercors à l'Ouest. Leur topographie leur confère des spécificités topoclimatiques diurnes et intra-saisonnières (Bigot *et al.*, 2017) parmi lesquelles se trouve l'accumulation d'air chaud pendant la saison estivale, sans écoulement d'air en épisode de surchauffe. De manière générale, la classification de Köppen place Grenoble dans un "climat tempéré chaud" à influences montagnardes (type Cfb). Selon la classification des zones climatiques locales (LCZ), Grenoble et Échirolles peuvent être principalement classées en LCZ-5 (ensemble d'immeubles espacés), LCZ-8/10 (bâtiments bas de grandes emprises), tandis qu'une majeure partie du centre-ville de Grenoble est classée en LCZ-2 (ensemble compact d'immeubles).

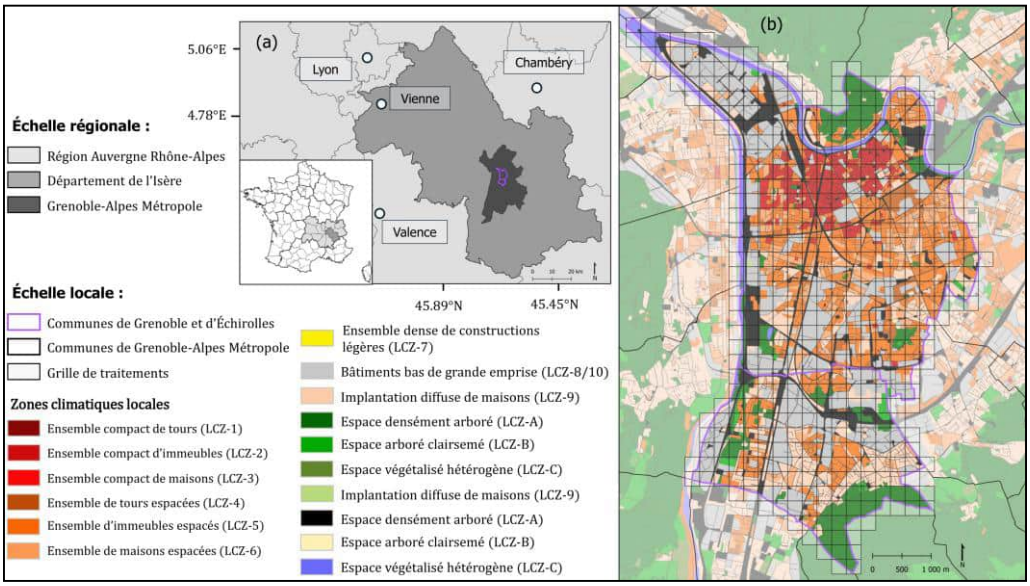


Figure 1. Présentation des communes de Grenoble et d'Échirolles. (a) représente la position des deux communes au sein du département de l'Isère et de Grenoble-Alpes Métropole. (b) présente l'occupation du sol des deux communes discréditées par les Local Climate Zone (LCZ d'après la typologie du CEREMA), et la grille de traitement sur laquelle les simulations ont été opérées.

1.3. Période d'étude

Afin d'évaluer la méthodologie et de vérifier l'adéquation de la To à la problématique initiale de l'étude, la période de test retenue correspond à la troisième canicule de 2023 en région Auvergne-Rhône-Alpes, survenue du 11 au 26 août. Il s'agit de la plus longue et de la plus intense canicule de fin d'été en France, marquée par le plus grand nombre de départements placés en vigilance rouge depuis 2019 (52). Plus largement, selon Météo-France, l'été 2023 a été le quatrième plus chaud enregistré en France métropolitaine depuis le début du XXe siècle. En Isère, les seuils biométéorologiques (i.e. TN>19°C et TX>34°C) ont été dépassés durant l'ensemble des quinze jours caniculaires. Une vigilance rouge a été décrétée du 23 au 25 août, avec un pic de température de 40,9 °C enregistré le 24 août à la station météorologique GreEn-ER de l'Ense[3] sur la Presqu'île de Grenoble (45.20°N, 5.70°E). Cette canicule a entraîné en Auvergne-Rhône-Alpes un excès de mortalité relatif de +9 %, ainsi que 618 passages aux urgences hospitalières et 177 interventions de SOS Médecins iCanicule.

1.4. Données et méthodes

Pour estimer spatialement les trois variables climatiques nécessaires au calcul de la To sur l'ensemble de la zone d'étude, trois modèles physiques issus du modèle communautaire libre accèsUMEP (UMEP v4.3.2 & UMEP for processing v2.1.1) – *Urban Multi-scale*

Environmental Predictor (Lindberg *et al.*, 2018) – ont été utilisés : SOLWEIG (*SOlar and LongWave Environmental Irradiance Geometry*) pour la température moyenne radiante (1 m de résolution), TARGET (*The Air-temperature Response to Green blue-infrastructure Evaluation Tool*) pour la température de l'air (250 m de résolution) et URock (*Diagnostic model dedicated to wind field calculation in urban setting*) pour la vitesse du vent (3 m de résolution). Ces modèles ont été forcés par des données spatiales, dont les sources et les méthodologies de calcul sont détaillées dans le Tableau 1, et par des données météorologiques issues des réanalyses ERA5 (https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview) décrites dans le Tableau 2, extraites du point de grille englobant les territoires d'étude (45.18°N, 5.72°E), pour obtenir une To à résolution d'un mètre.

Afin d'optimiser les temps de calcul et de limiter la consommation de ressources, les simulations ont été séquentialisées et exécutées parallèlement sur chacune des 500 tuiles de 250 x 250 m illustrées en Figure 1, sur le serveur de calcul de l'IGE (https://github.com/ige-calcul/public-docs/blob/main/docs/clusters/Ige/ige-calcul1.md). Pour éviter les effets de bords lors de l'agrégation des résultats finaux, une zone tampon de 50 m a été appliquée à la grille de traitement.

Tableau 1. Données d'entrée pour le fonctionnement des modèles.

Données d'entrée	**Format**	**Sources**
Modèle numérique de terrain[1,2,3]	.tiff	IGN (BD ALTI)
Hauteur des bâtiments[1,2,3]	.tiff[1], .fgb[3]	IGN (BD TOPO)
Hauteur de la végétation[1,3]	.tiff[1], .fgb[3]	IGN (LiDAR HD)
Occupation du sol[1,2]	.tiff	IGN (BD TOPO, LIDAR HD), Cerema (BD LCZ)
Aspect des murs[1]	.tiff	Pré-processeur UMEP
Hauteur des murs[1]	.tiff	Pré-processeur UMEP
Sky View Factor[1]	.tiff	Pré-processeur UMEP
Morphométrie anisotrope et isotrope des bâtiments[2]	.txt	Pré-processeur UMEP
Fraction d'occupation du sol[2]	.txt	Pré-processeur UMEP

[1] Pour SOLWEIG ; [2] Pour TARGET ; [3] Pour URock.

Tableau 2. Données météorologiques d'entrée pour le fonctionnement des modèles.

Variables	**Unité**
Rayonnement solaire incident[1,2]	W m^{-2}
Température de l'air[1,2]	°C
Précipitations[1,2]	mm
Humidité relative[1,2]	%
Pression barométrique de surface[1,2]	kPa
Vitesse du vent[1,2,3]	m/s
Direction du vent[1,2,3]	°

[1] Pour SOLWEIG ; [2] Pour TARGET ; [3] Pour URock.

2. Résultats

Afin de donner un aperçu des résultats obtenus, la température opérative a été calculée sur la tuile c-307 pour la journée du 23 août à 15h. Cette tuile correspond au quartier Peretto / Stalingrad, situé sur la commune de Grenoble. Il s'agit d'un secteur urbain caractérisé par une mixité fonctionnelle, combinant des zones d'habitat résidentiel et des espaces dédiés aux activités commerciales. D'un point de vue morphologique, ce quartier appartient majoritairement à la classe LCZ-5.

L'analyse des données issues de la température moyenne radiante met en évidence une élévation thermique plus marquée au niveau des surfaces bâties, qui absorbent et restituent une quantité significative de rayonnement (Figure 2a). En parallèle, se distinguent nettement des effets d'ombrage générés par la morphologie urbaine et la végétation, contribuant à moduler localement les conditions microclimatiques. Ces espaces ombragés présentent un potentiel de rafraîchissement notable, particulièrement dans les zones arborées où l'évapotranspiration joue un rôle régulateur. Un autre facteur déterminant dans la répartition spatiale des températures opératives est la vitesse de l'air. En effet, l'analyse de la Figure 2b révèle des effets Venturi, qui favorisent un abaissement des températures dans certaines artères urbaines. Ces dynamiques sont particulièrement perceptibles sur la rue Général Ferrié, à l'ouest de la figure, ainsi que sur la rue des Déportés du 11 novembre 1943, au sud-est. Dans ces secteurs, l'accélération des flux d'air contribue à améliorer le confort thermique en réduisant la stagnation de l'air chaud. Par ailleurs, bien que la Tmrt et la vitesse du vent jouent un rôle prépondérant dans la distribution spatiale de la température opérative en raison de leur résolution, cette dernière reste également conditionnée par la température de l'air. À ce titre, la tuile c-307 (Figure 2) se distingue parmi les tuiles affichant les températures de l'air les plus élevées à cette date, avec une valeur précise de 30,94°C. Ce niveau s'inscrit dans un gradient thermique compris entre environ 29°C et 33°C sur l'ensemble de la zone étudiée.

Finalement, ces résultats s'inscrivent dans un cadre plus large de simulations et de calculs en cours, intégrant des approches multi-modèles et impliquant des choix méthodologiques complexes, aussi bien sur la sélection des variables et des données que sur la résolution spatiale. La mise en œuvre de ces analyses repose sur des processus computationnels exigeants, nécessitant des ajustements itératifs, en particulier dans le contexte du modèle Urock encore en cours de développement, ainsi qu'une interprétation rigoureuse des résultats afin d'en assurer la fiabilité et la robustesse.

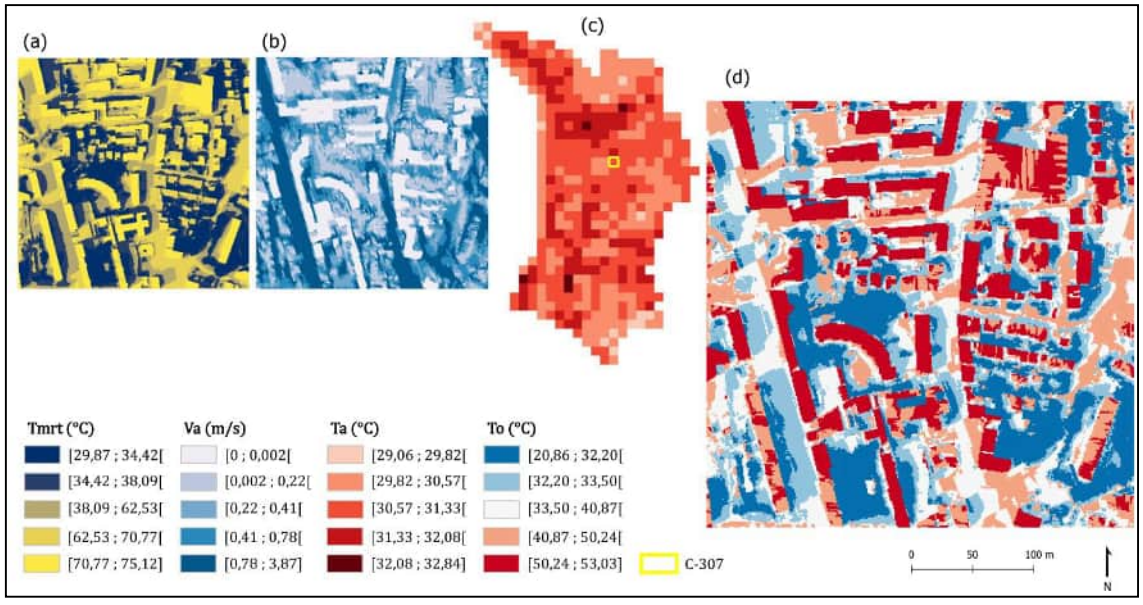


Figure 2. Exemple du calcul et du résultat final de la Température Opérative sur la tuile c-307 le 23 août 2023 à 15h. (a) cartographie la température moyenne radiante, (b) la vitesse du vent, (c) la température de l'air et (d) la température opérative.

Conclusion

Cette étude s'inscrit dans une démarche plus large visant à proposer et éprouver une méthodologie pour analyser spatialement et physiquement le confort thermique diurne en milieu urbain lors des épisodes de forte chaleur. En s'appuyant sur un cas concret, elle interroge la pertinence d'un indice de confort thermique adapté à cet objectif, tout en évaluant sa mise en œuvre et son applicabilité. Les résultats obtenus sur la tuile C-307 située au cœur de Grenoble illustrent déjà les dynamiques thermiques à l'échelle locale, mettant en évidence l'influence des bâtiments, de la végétation et de la vitesse de l'air sur la répartition des températures opératives. Toutefois, ces conclusions restent partielles et seront affinées à mesure que l'analyse s'étendra à l'ensemble des données couvrant la commune de Grenoble et celle d'Échirolles. Cette approche contribuera ainsi à enrichir les modèles d'évaluation de la vulnérabilité sociale à la chaleur, déjà engagés pour l'analyse nocturne des espaces urbains à travers l'ICU. Elle apportera également une contribution aux réflexions sur la compréhension de la distribution spatiale de la surchauffe urbaine diurne et son opérationnalisation.

Remerciements : Ce travail de recherche a été soutenu par une bourse de doctorat financée par l'ADEME et le LabEx SMS (Structuration des Mondes Sociaux) et la participation au colloque est financée par le projet ADEME-CASSANDRE. Remerciements à Christophe Rousseau (Grenoble-INP) pour la mise à disposition des données de la station météorologique GreEn-ER de l'Ense[3] utilisées dans le cadre de cette étude pour caractériser la période caniculaire considérée. Ces informations ont été fournies par Grenoble INP - UGA - ENSE3 & G2Elab. Une gratitude particulière est également exprimée envers Mondher Chekki de l'IGE pour son aide précieuse quant à l'utilisation du serveur de calcul, ainsi qu'à Jérémy Bernard pour son expertise sur les travaux de l'étude, en plus du soutien dans le bon fonctionnement, le développement et la maintenance du modèle Urock.

Bibliographie

ANSI/ASHRAE, 2023 : Thermal environmental conditions for human occupancy, 55 pp. ANSI/ASHRAE.

Bigot S., Duche S., Madelin M. et Rome S., 2017 : Etude du climat urbain : Pour une mise à disposition de nouveaux services climatiques. Bulletin de la Société Géographique de Liège, https://doi.org/10.25518/0770-7576.4505

de Freitas C. R. et Grigorieva E. A., 2015 : A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. International Journal of Biometeorology, **59**(1), 109-120. https://doi.org/10.1007/s00484-014-0819-3

IPCC, 2021 : Climate Change 2021 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1re éd. Cambridge University Press, https://doi:10.1017/9781009157896

Lagelouze T., Hidalgo J., Aranda M. et Dumas G., 2024 : Comparison and theoretical conceptualization analysis of statistical methods used to develop heat vulnerability indices in urban areas. European Journal of Geography, **15**(3), 154-176. https://doi.org/10.48088/ejg.t.lag.15.3.154.176

Lindberg F., Grimmond C. S. B., Gabey A., Huang B., Kent C. W., Sun T., Theeuwes N. E., Järvi L., Ward H. C., Capel-Timms I., Chang Y., Jonsson P., Krave N., Liu D., Meyer D., Olofson K. F. G., Tan J., Wästberg D., Xue L. et Zhang Z., 2018 : Urban Multi-scale Environmental Predictor (UMEP): An integrated tool for city-based climate services. Environmental Modelling & Software, **99**, 70-87. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.09.020

Migliari M., Babut R., De Gaulmyn C., Chesne L. et Baverel O., 2022 : The Metamatrix of Thermal Comfort: A compendious graphical methodology for appropriate selection of outdoor thermal comfort indices and thermo-physiological models for human-biometeorology research and urban planning. Sustainable Cities and Society, **81**, 103852. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103852

APPORT DES PRODUITS CAMS POUR L'ANALYSE DES DYNAMIQUES METEOROLOGIQUES REGIONALES : LE CAS DE LA BOURGOGNE FRANCHE-COMTE

Sarah MARION [1], Nadège MARTINY [1] & Pascal ROUCOU [1]

[1] *Laboratoire Biogéosciences, UMR 6282 CNRS, Université Bourgogne Europe, 6 Boulevard Gabriel, 21 000 Dijon, France (sarah.marion@u-bourgogne.fr)*

Résumé : *Cette étude montre que les réanalyses CAMS, avec leur couverture spatiale étendue, variables dynamiques et pas de temps tri-horaire, surpassent SAFRAN pour analyser les situations météorologiques influençant la qualité de l'air en Bourgogne Franche-Comté. CAMS, malgré sa basse résolution spatiale, capte des gradients fins, notamment entre Dijon et Montbéliard, permettant une classification quotidienne pertinente des types de temps. CAMS offre une base solide pour l'analyse des dynamiques météorologiques régionales et infra-régionales.*

Mots-clés : réanalyses, types de temps, régimes de circulation

CONTRIBUTION OF CAMS PRODUCTS FOR THE ANALYSIS OF REGIONAL METEOROLOGICAL DYNAMICS: THE CASE OF BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ

Abstract: *This study shows that CAMS reanalyses, with their extensive spatial coverage, dynamic variables and three-hour time step, outperform SAFRAN in analysing the meteorological situations influencing air quality in Burgundy Franche-Comté. Despite its low spatial resolution, CAMS captures fine gradients, particularly between Dijon and Montbéliard, enabling relevant daily classification of weather types. CAMS provides a solid basis for analysing regional and sub-regional meteorological dynamics.*

Key words: reanalyses, weather types, circulation regimes

1.Introduction

La pollution aux particules fines (PM) est un enjeu majeur de santé publique, lié à l'augmentation des pathologies respiratoires et cardiovasculaires (ex. Brunekreef et al., 2021). En Europe, cette pollution est suivie par des stations réglementées fournissant des données précises en surface.

Une étude récente en Bourgogne Franche-Comté (Marion et al., 2025) a montré que les régimes de circulation, identifiés à partir des données SAFRAN (8 km) et des classifications Großwetterlagen (GWL), influencent de manière cohérente les niveaux de PM mesurés : les situations anticycloniques favorisent l'accumulation, les régimes dépressionnaires la dispersion. Cependant, SAFRAN ne renseigne pas sur les circulations à grande échelle, et les GWL, peu résolues temporellement et qualitativement, limitent l'analyse régionale. Les réanalyses CAMS, malgré une résolution spatiale grossière (~75 km), offrent un pas de temps fin (3h) et un large éventail de variables dynamiques.

Cette étude évalue leur capacité à définir une classification quotidienne des types de temps en Bourgogne Franche-Comté, utile pour comprendre les mécanismes influençant la pollution aux PM.

L'analyse comprend deux étapes : une validation climatologique à l'échelle de la BFC puis une étude du gradient de pression entre 2 villes de BFC : Dijon et Montbéliard (§3.1), l'évaluation de types de temps obtenus avec CAMS (étape 1 §3.2.1 et étape 2 en §3.2.2).

2. Matériel et méthodes

2.1. Données

2.1.1. Présentation de la zone d'étude

La Bourgogne Franche-Comté (BFC), région de l'Est de la France, se caractérise par un relief de basse altitude (500-800 m) s'ouvrant vers l'axe rhénan via la Trouée de Belfort. Son climat océanique tempéré (*Cfb* de Köppen) (Köppen, 1936) présente des hivers doux et humides, des étés frais, sous l'influence des vents dominants. Deux sites contrastés ont été choisis pour l'analyse : Dijon, en plaine urbaine et agricole, et Montbéliard, en bordure du relief jurassien, plus enclavé et forestier.

2.1.2. CAMS : réanalyses atmosphériques (2015 – 2023)

Les données météorologiques utilisées proviennent des réanalyses du Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), produit développé par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF). CAMS combine des modèles numériques et des observations satellitaires et in situ via un système d'assimilation de données. Ce travail exploite le jeu CAMS reanalysis (EAC4), couvrant la période du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2023, avec une résolution spatiale horizontale de 0,75° × 0,75° et une fréquence temporelle de 3 heures.

Les variables retenues sont : la température de l'air à 2 mètres (t2m, en K), la pression atmosphérique au niveau de la mer (msl, en hPa), les composantes zonale et méridienne du vent à 10 mètres (u10 et v10), ainsi que l'humidité spécifique (q, en kg/kg). Ces données ont été extraites sur un domaine (63°N–30°S ; -20°O–15°E) englobant France et Allemagne, puis agrégées à un pas journalier.

L'humidité relative (RH, en %) est calculée à partir de l'humidité spécifique au Model Level 60 (niveau de pression 1013 hPa) et de la température à 2 m, selon la formule basée sur la pression de vapeur saturante de Tetens :

$$RH = \frac{q \cdot P}{0.622 \cdot \mathrm{e}s(T)}$$

où $e_s(T)$ est la pression de vapeur saturante, calculée selon la loi de Clausius-Clapeyron :

$$es(T) = 6.112 \times \exp(\frac{17.67 \cdot T - 273.15}{T - 29.65})$$

avec *q :* humidité spécifique (kg/kg), *P :* pression de l'air (hPa), *es(T) :* pression de vapeur saturante (hPa)*, T* : température en Kelvin (K)

2.2. Types de temps et de circulation à partir des CAMS

2.2.1. Classification à partir d'un trio de variables : l'élaboration des types de temps

Une classification non supervisée par k-means, basée sur trois variables — humidité relative (HR, %), température moyenne à 2 m (t2m, °C) et vitesse du vent en surface (vt, m/s) — a permis de définir les régimes météorologiques dominants (types de temps) en BFC. L'analyse porte sur la « saison des particules » d'octobre à avril (Marion et al., 2025). Les variables ont été standardisées pour un poids statistique équivalent, et le nombre optimal de classes ou « clusters » a été choisi selon les méthodes Elbow et silhouette.

2.2.2. Classification à partir de la pression de surface : l'identification des types de circulation

Une classification par k-means appliquée à la pression de surface a permis d'identifier les régimes météorologiques majeurs influençant l'Europe de l'Ouest, et donc la BFC, en distinguant trois types de circulation : anticyclonique, dépressionnaire et intermédiaire. Chaque jour de la période étudiée a été assigné à un régime, ce qui a permis d'analyser leur variabilité temporelle et leurs impacts sur les conditions météorologiques locales. Cette méthode synthétise les dynamiques atmosphériques principales, facilitant l'étude des relations entre circulation à grande échelle et climat régional.

3.Résultats

3.1. Climat moyen et variabilité saisonnière en BFC sur la période 2015-2023

Cette section vise à évaluer la capacité des CAMS à restituer fidèlement les conditions météorologiques moyennes et la variabilité saisonnière à l'échelle régionale, en BFC.

3.1.1. Climat moyen

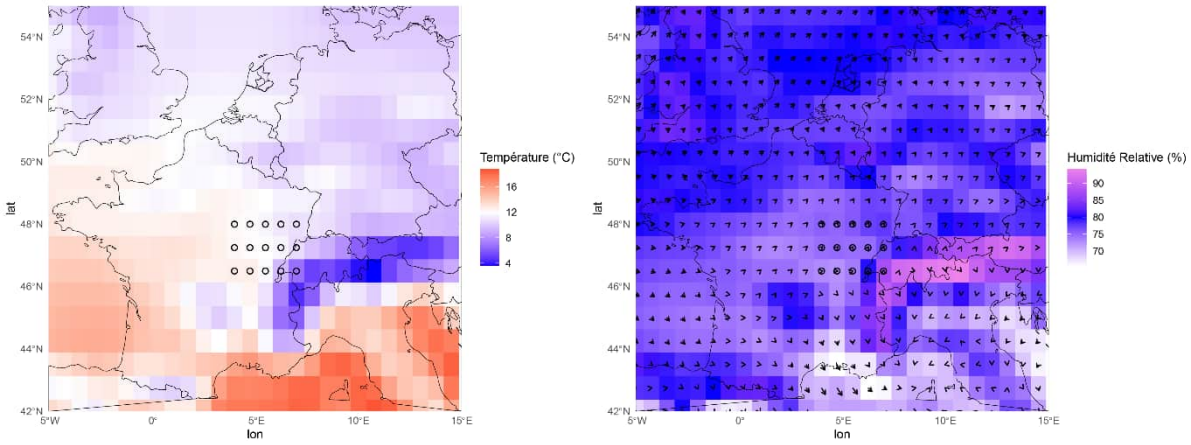


Figure 1. Moyenne sur la période 2015–2023 de la température à 2 mètres (t2m ; °C) (gauche), de l'humidité relative (HR ; %) et de la vitesse du vent en surface (vt ; m/s) (droite). Les points de grille couvrant la Bourgogne Franche-Comté sont marqués d'un cercle noir.

La figure 1 décrit le climat moyen 2015–2023 sur l'Europe de l'Ouest. L'humidité relative (65–95%) est influencée par le relief (Alpes), l'Atlantique et les brises marines. Les températures moyennes suivent un gradient nord-sud, atténué sur le littoral par les dynamiques océaniques (3,5 à 18 °C).

La côte Atlantique présente des températures plus élevées (jusqu'à 16 °C) et une humidité plus faible (70%) qu'au nord-est (10 °C, 80%). Les vents d'ouest (westerlies), dominants en zone tempérée, acheminent un air doux et humide, modulé par la NAO (Cassou & Terray, 2001), influençant précipitations et températures saisonnières. Cette organisation spatiale est cohérente avec le climat Cfb de Köppen (tempéré océanique à été tempéré). Des zones localisées (plaine de Saône, fossé rhénan) relèvent parfois d'un Cfa (été chaud). En BFC, la température moyenne est de 11 °C, l'humidité relative de 76%, et le vent modéré (1,57 m/s).

3.1.2 Variabilité saisonnière : des contrastes marqués entre l'automne et l'hiver

L'analyse des régimes synoptiques met en évidence des contrastes saisonniers marqués. En hiver (DJF, Figure 2), un régime anticyclonique continental domine, avec fortes pressions, vent

faible (O–NO) et températures basses, favorisant les inversions, notamment dans le fossé rhénan. En automne (SON, Figure 2), un flux O–SO domine sous haute pression, avec des températures plus douces.

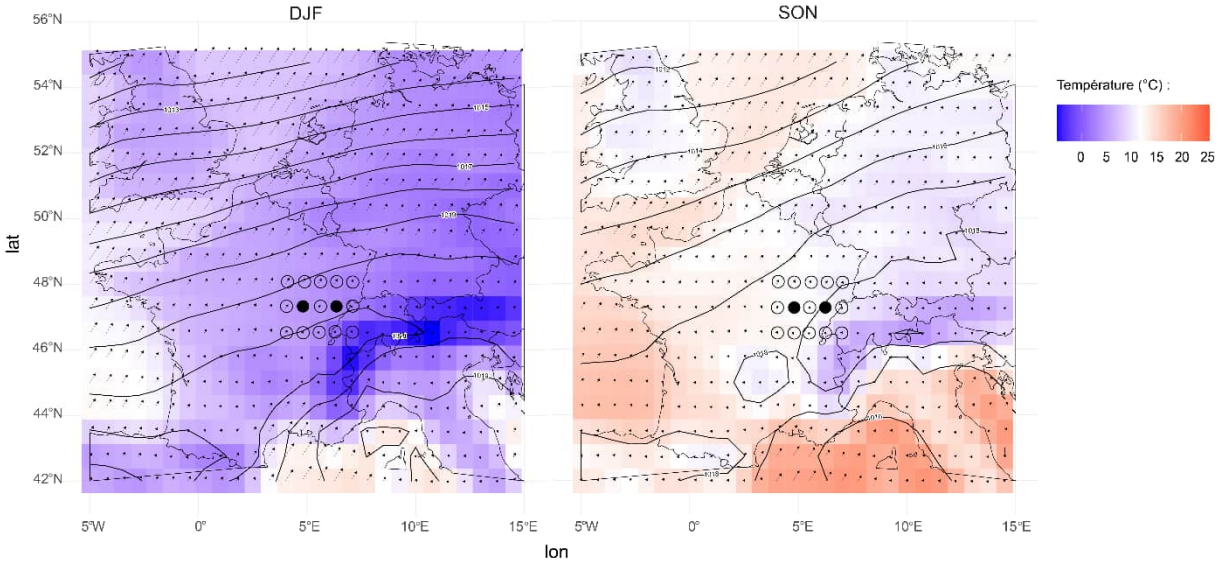


Figure 2. Moyenne saisonnière (DJF : hiver ; SON : automne) de la température (°C), du vent (m/s) et de la pression de surface (hPa) sur la période 2015–2023. Les points de grille couvrant la BFC sont en cercle noir. Les points de Dijon et Montbéliard sont représentés par leur grille respective (cercle noir plein).

Les produits CAMS reproduisent ainsi fidèlement les structures climatiques et leurs modulations saisonnières conformément à la connaissance de la région étudiée. Qu'en est-il des types de temps et de circulation à échelle quotidienne ?

3.2. Identification des types de temps et des types de circulation atmosphériques à partir des réanalyses CAMS : une approche multi-échelles pour la Bourgogne Franche-Comté

L'objectif de cette section est d'évaluer la capacité des données CAMS à caractériser les types de temps récurrents sur la région Bourgogne Franche-Comté (BFC), ainsi que les types de circulation atmosphériques quotidiennes pour 2 villes de la BFC : Dijon et Montbéliard.

3.2.1. Définition et analyses des « types de temps » par clustering spatial

Une classification non supervisée par k-means (k = 3) a été appliquée à trois variables météorologiques issues des réanalyses CAMS sur la période hivernale (cf §2.2.1) : la température à 2 mètres, l'humidité relative et la vitesse du vent. Cette analyse, effectuée à l'échelle de la grille CAMS couvrant la BFC, vise à mettre en évidence des structures atmosphériques spatiales homogènes.

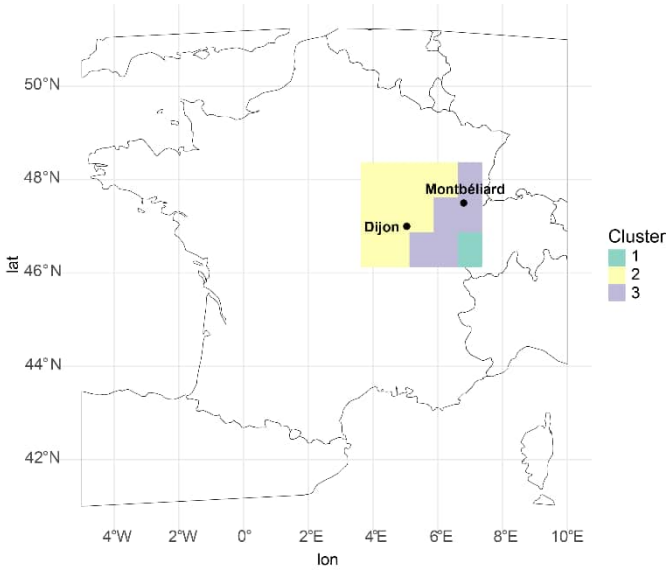


Figure 3. Clustering spatial des points de grille sur la Bourgogne Franche – Comté. Les clusters apparaissent en couleur : en vert : CL1, en jaune : CL2 et en violet : CL3.

Trois clusters ont ainsi été identifiés :

Cluster 1 (CL1) : isolé sur un seul point de grille (en vert), ce type de temps se distingue par une température très basse (1.25 °C), une humidité relative élevée (91.3 %) et un vent très faible (1.69 m/s). Il s'agit vraisemblablement d'un effet topographique local marqué.

Cluster 2 (CL2) : ce type de temps est caractérisé par des conditions douces (6.85 °C), humides (81.6 %) et modérément ventées (3.33 m/s). Les faibles écarts-types suggèrent une homogénéité des conditions atmosphériques dans ces zones ouvertes.

Cluster 3 (CL3) : ce cluster présente des températures légèrement plus basses (5.45 °C), une humidité équivalente au CL2 (81.6 %) et un vent légèrement plus faible (2.51 m/s), avec une variabilité plus marquée (écart-type : 0.94).

La répartition spatiale des clusters semble conditionnée par la topographie : le cluster 3 s'aligne avec le fossé rhénan, traduisant l'effet d'une vallée encaissée, tandis que le cluster 2 correspond aux plaines plus ouvertes. Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus à partir de SAFRAN à haute résolution (Marion et al., 2025), confirmant que malgré une maille plus large, CAMS permet de restituer les grands contrastes intra-régionaux.

3.2.2. Définition et analyse des types de circulation journalière à Dijon et Montbéliard

Une classification journalière des types de temps a été réalisée à partir des champs de pression de surface CAMS uniquement et pour l'année 2020. L'analyse par k-means (k = 3), appliquée aux valeurs moyennes journalières sur les sites de Dijon et Montbéliard, a permis d'identifier trois régimes distincts (figure 4):

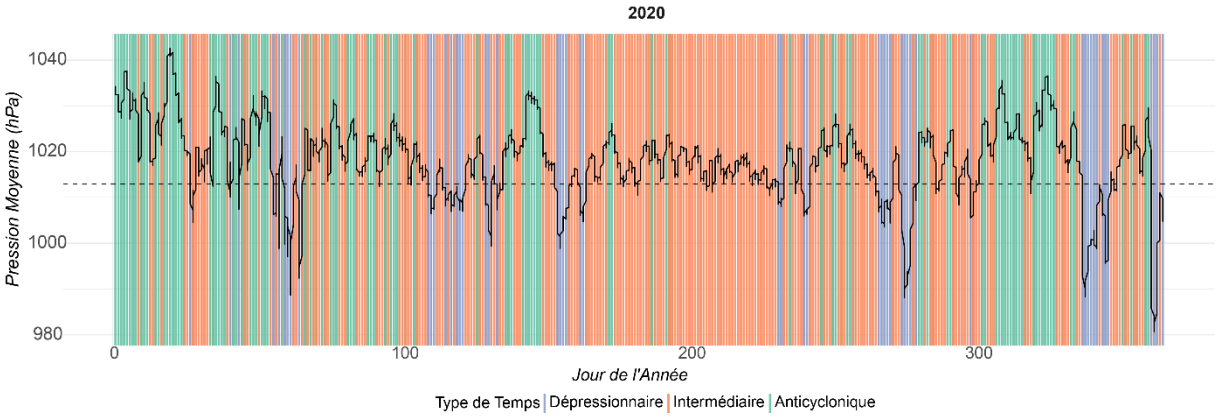


Figure 4. Clustering de la pression moyenne journalière en Bourgogne Franche-Comté (en 2020). Classification des jours en lignes verticales (régime dépressionnaire en bleu, régime intermédiaire en orange, régime anticyclonique en vert). La pression moyenne journalière apparaît ici en courbe noire.

- Type dépressionnaire (pression < 1010 hPa, en bleu, figure 4), associé à un temps perturbé avec vent, nébulosité ou précipitations.
- Type intermédiaire (entre 1010 et 1020 hPa, en orange), caractérisant des situations de transition ou de variabilité selon les saisons.
- Type anticyclonique (pression > 1020 hPa, en vert), traduisant des conditions stables, souvent dégagées, avec peu de vent.

La figure 4 met en évidence que le seuil usuel de 1013 hPa n'est pas suffisant pour décrire les régimes en BFC : la variabilité locale impose une analyse relative.

La capacité de CAMS à restituer des régimes de pression journaliers à échelle régionale représente un avantage notable par rapport à la classification GWL, qui reste fondée sur des champs synoptiques à large échelle (Europe de l'Ouest) et sur des variables qualitatives, et ne permet pas d'identifier les types de circulations « intermédiaires ».

Conclusion

Cette étude évalue la capacité des réanalyses CAMS à caractériser les dynamiques météorologiques régionales et infrarégionales en BFC. Deux résultats principaux se dégagent : malgré une résolution spatiale inférieure à celle de SAFRAN, CAMS offre une couverture plus large et intègre des variables dynamiques (vent, humidité), permettant une lecture plus complète de l'atmosphère. Elle fournit des classifications journalières cohérentes des types de temps. Le gradient de pression entre Dijon et Montbéliard se révèle un indicateur local pertinent pour définir des types de circulation atmosphérique (dépressionnaire, intermédiaire, anticyclonique) mettant en évidence des contrastes que les approches globales, comme les GWL, ne détectent pas.

Références

Brunekreef, B., Strak, M., Chen, J., Andersen, Z. J., Atkinson, R., Bauwelinck, M., Bellander, T., Boutron, M.-C., Brandt, J., Carey, I., Cesaroni, G., Forastiere, F., Fecht, D., Gulliver, J., Hertel, O., Hoffmann, B., de Hoogh, K., Houthuijs, D., Hvidtfeldt, U., … Hoek, G. (2021). Mortality and Morbidity Effects of Long-Term Exposure to Low-Level PM2.5, BC, NO2, and O3 : An Analysis of European Cohorts in the ELAPSE Project. *Research Reports: Health Effects Institute*, *2021*, 208.

Cassou, C., & Terray, L. (2001). Dual influence of Atlantic and Pacific SST anomalies on the North Atlantic/Europe winter climate. *Geophysical Research Letters*, *28*(16), 3195-3198. https://doi.org/10.1029/2000GL012510

Köppen, W. (1936). *Das geographische System der Klimate: Vol. Band 1, Teil C*. Gebrüdcr Borntraeger.

Marion, S., Martiny, N., Crumeyrolle, S., Planchon, O., & Detournay, A. (2025). Particulate matter pollution at regional scale in Eastern France : Influence of weather types and circulation regimes and sources strength during COVID-19 Lockdowns. *Atmospheric Pollution Research*, *16*(3), 102423. https://doi.org/10.1016/j.apr.2025.102423

BIOCLIMAT HUMAIN ET IMPLICATION SANITAIRE DES POPULATIONS DE OUIDAH ET DE GRAND-POPO AU SUD DU BENIN

Crépin MENSAH [1], Maximilien Patrice BOKO[2], Kouété Hervé KOUDJEGA [3], Joseph SATONDJI [4], Expédit Wilfrid VISSIN [5]

EDP/ECD (UAC)/ FASHS (UAC)/ Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Ecosystème, Eau et Développement (LACEED)/ Université d'Abomey-Calavi, 01BP 2009 Cotonou BENIN

[1]*mencrep1972@gmail.com*

[2]*patrice.boko7@gmail.com*

[3]*koudjegaherve@gmail.com*

[4]*satondjijosepha@gmail.com*

[5]*exlaure@gmail.com*

Résumé : *Le climat conditionne des biotopes particuliers qui permettent le développement des micro-organismes pathogènes. Cette étude vise à déterminer l'influence des temps bioclimatiques à Ouidah et à Grand-Popo. L'analyse s'est appuyée sur les tendances des paramètres climatiques sur la période de 1984-2024. Le test de Chi² et la loi de Bravais Pearson sont utilisés pour le traitement des données. Le coefficient de corrélation de Bravais Pearson montre que la recrudescence du paludisme (53%), de l'anémie (25%) et de la gastroentérite (22%) s'enregistre en saison pluvieuse. Ces maladies liées au climat affectent toutes les couches de la population des deux communes.*

Mots-Clés *: Bioclimat humain, santé, Ouidah et Grand-Popo*

Abstract: *Climate determines specific biotopes that enable the development of pathogenic microorganisms. This study aims to assess the influence of bioclimatic conditions in Ouidah and Grand-Popo. The analysis is based on trends in climatic parameters over the period 1984–2024. The Chi-squared test and Bravais-Pearson correlation were used for data analysis. The Bravais-Pearson correlation coefficient shows that the resurgence of malaria (53%), anemia (25%), and gastroenteritis (22%) occurs predominantly during the rainy season. These climate-related diseases affect all segments of the population in both communes.*

Keywords: *Human bioclimate, health, Ouidah, Grand-Popo*

Introduction

L'environnement, par différents facteurs (climat, relief, hydrographie) peut de façon directe ou indirecte créer des conditions favorables au développement des germes pathogènes et à la prolifération de leurs hôtes vecteurs. Plusieurs cas de maladies hydriques sont dénombrés (maladies gastroentérites, choléra) régulièrement dans les milieux humides (FANGNON, 2007). Le climat conditionne la vie des êtres vivants, en même temps qu'il intervient sur la destinée de leur groupement (PAGNEY, 1978). Les maladies diarrhéiques s'observent pendant la saison sèche et au début de la saison pluvieuse. Alors que les maladies respiratoires aigües sont la prédilection de la saison sèche, quand l'air est trop sec et pendant l'hivernage, quand l'air est humide (BABADJIDE, 2008). En effet, ces variations favorisent la prolifération de divers types de vecteurs responsables de diverses pathologies (VISSIN *et al*, 2007). Selon KALKSTEIN L. (2001), les variations de la température (chaleur et froid) ont des répercussions sur la fréquence et la transmission des maladies infectieuses à transmission vectorielle, sur la morbidité et la mortalité. Dans la zone côtière ouest du sud Bénin en l'occurrence les communes de Ouidah et de Grand-Popo, zone humide, il se manifeste entre autres, une forte irrégularité des précipitations interannuelles tant dans leur ampleur que dans leur répartition (BOKO, 1988). L'occupation de ces zones humides à densité hydrographique variable est susceptible d'engendrer des maladies telles que le paludisme, l'anémie, les maladies diarrhéiques, la gastroentérite et les infections respiratoires aigües (IRA) (Cakpo-Chichi, 2013). En ce qui concerne le paludisme, la productivité en anophèles dépend tout d'abord de l'apport en eau, c'est-à-dire de la pluviométrie ou l'alimentation des surfaces irriguées (Azonhè, 2009). Il faut

donc que des études soient menées dans cette zone côtière pour permettre de mieux cerner les spécificités climatiques propres à chaque milieu de vie de l'homme, pour y adapter des systèmes de prévision sanitaire adéquats.

L'aire d'étude est constituée par les Communes de Grand-Popo et de Ouidah ; elle est située entre 1°36' et 2°16' de longitude Est et 6°12' et 6°30' de latitude Nord et couvre une superficie de 653Km^2 avec une densité de 336 habitants / km^2 (figure1).

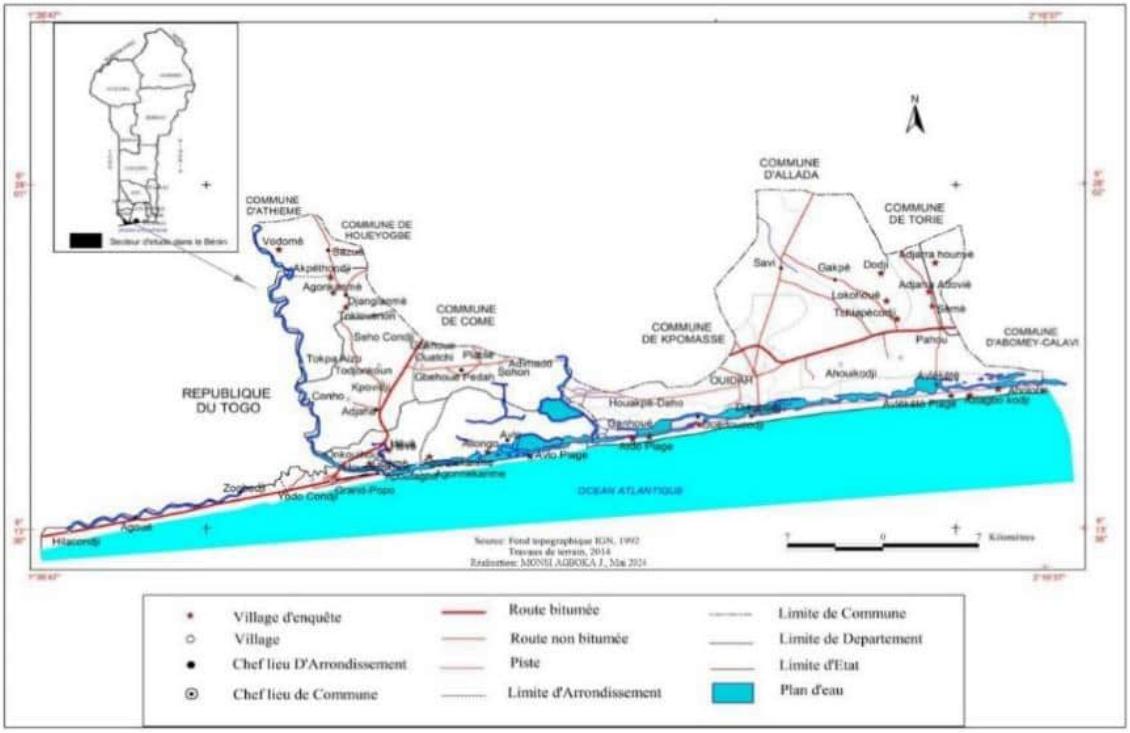


Figure 1. Situation géographique de Grand-Popo et de Ouidah

La Commune de Grand-Popo compte 07 arrondissements et 44 villages et celle de Ouidah compte 10 arrondissements subdivisés en 60 quartiers de villes et villages (Capo- chichi, 2006).

1. Approche méthodologique

1.1. Données

Les données annuelles et mensuelles de la température et de l'humidité relative ont été collectées à la météo Bénin, dans la ville de Cotonou, sur une période de 1984-2024. Quant aux données pluviométriques utilisées, elles sont relevées à la station de Ouidah. Quant aux données relatives aux pathologies, il s'agit des statistiques annuelles et mensuelles du paludisme, de l'anémie, des IRA (infections respiratoires aigües) des maladies diarrhéiques et de la gastroentérite, elles ont été prises dans les deux communes sur une période de six ans (2018 à 2024). L'indice bioclimatique UTCI généré à l'aide du logiciel BioKlima 2.6 a été retenu comme pertinent afin de caractériser les ambiances bioclimatiques et de permettre d'évaluer le niveau de confort thermique atteint dans les milieux en climat tropical.

1.2. Traitement et analyse des données

Les séries climatologiques (température, humidité relative, hauteur de pluie et évapotranspiration potentielle) ont permis de calculer la moyenne, les coefficients de variation et le bilan climatique tandis que les statistiques sanitaires ont permis de ressortir la moyenne et

les coefficients de corrélation. Pour le choix et l'interprétation des coefficients de corrélation, puisqu'il s'agit des variables quantitatives X et Y que sont les données climatiques et les statistiques des maladies, l'intensité de la liaison entre elles a été mesurée à l'aide du coefficient de corrélation de Bravais Pearson.

Pour déterminer la couche de la population la plus vulnérable aux effets du climat, l'incidence des maladies liées aux paramètres climatiques a été calculée. L'UTCI a d'abord été calculé à partir d'un modèle dynamique thermo-physiologique nodale (Fiala *et al*., 2012)., par la formule suivante :
les variables d'entrées de l'UTCI sont des paramètres climatologiques et des données physiologiques illustrées par la formule ci-après :

$$UTCI\ (T_a, T_{mrt}, V_a, p_v) = T_a + \text{offset}(T_a, T_{mrt}, V_a, p_v)$$

- T$\boldsymbol{a}$: température de l'air (en °C) ;
- Tmrt : température radiante moyenne (en °C) ;
- $\boldsymbol{V\,a}$: vitesse du vent à 10 m au-dessus du sol (en ms-1) ;
- $\boldsymbol{p\,v}$: Humidité relative de l'air (en %).

2. Résultat et discussion

2.1. Ambiances bioclimatiques et état pathologique de la Zone côtière Ouidah Grand-Popo

Les sensations de confort et d'inconfort susceptibles d'être ressenties dans les milieux de la zone côtière ont été présentées à partir des valeurs de l'UTCI de 1984 à 2024. La figure 2 présente les valeurs de l'UTCI.

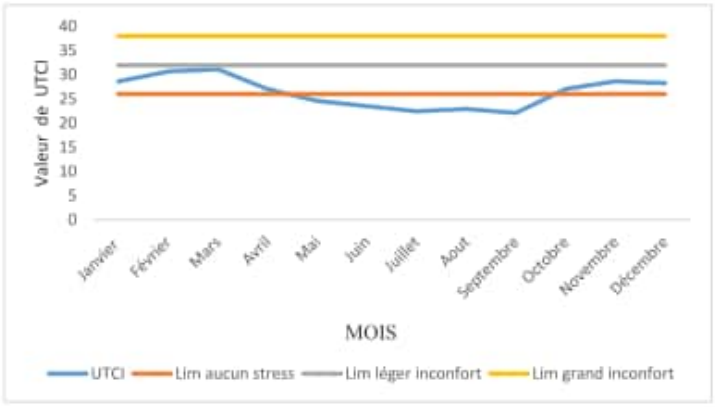


Figure 2. Sensation thermique mensuelle en fonction de la valeur de l'indice UTCI de 1984 à 2024
Source : Météo Bénin et travaux de terrain, 2024

La figure 2 montre que les ambiances ont été légèrement inconfortables (aucun stress) mais avec des variantes d'un mois à un autre. Ainsi, l'ambiance bioclimatique au mois de janvier est marquée par un stress thermique modéré soit une sensation caractérisée par une chaleur. Selon Huynen *et al.*, (2001), à un certain stade de stress thermique, des mesures compensatoires de l'organisme ne peuvent pas maintenir la température interne du corps au niveau requis pour le fonctionnement normal. En conséquence, le risque de maladies provoquées par l'ambiance bioclimatique, les troubles et les accidents augmentent considérablement. L'augmentation des comportements à risque, qui peut conduire à des accidents, est également considérée dans l'état d'équilibre du corps humain.

Le coefficient de corrélation de Bravais Pearson entre l'ambiance bioclimatique et les différentes maladies montre que la recrudescence du paludisme (53%), de l'anémie (25%) et de

la gastroentérite (22%) s'enregistre en saison pluvieuse. Les infections respiratoires aigües sont liées à la siccité de l'air et les maladies diarrhéiques connaissent une occurrence dès le début de la saison pluvieuse.

2.2. Etude des Rythmes du paludisme et des facteurs climatiques

La figure 3 présente les courbes d'évolution du nombre de cas de paludisme (en rouge), de la pluviométrie et de la température (en bleu), dans la zone côtière Ouidah-Grand-Popo.

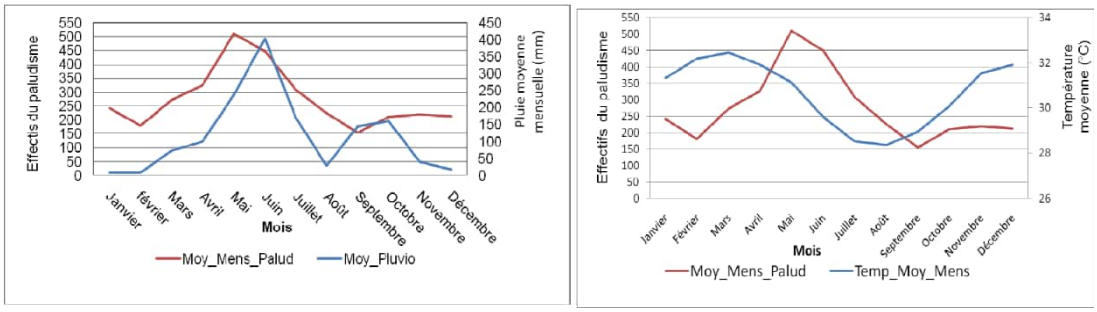


Figure 3. Evolution du paludisme en fonction de la pluviométrie et de la température sur la période 1984-2024

L'analyse de la figure 3 montre que le démarrage des pluies coïncide avec une augmentation progressive du nombre de cas de paludisme. Ce nombre régresse lorsque la pluviométrie chute, avec un certain décalage dans le temps. Cependant on remarque que les cas de paludisme s'enregistrent tout au long de l'année. En ce qui concerne la température, elle montre que les périodes de baisse thermique enregistrent une augmentation du paludisme. La baisse thermique est donc favorable au développement de l'anophèle, responsable du paludisme. Quant aux périodes de forte température, elles enregistrent une baisse du paludisme et sont donc, défavorables à la prolifération de l'anophèle.

2.3. Etude des Rythmes des infections respiratoires aigües et des facteurs climatiques

La figure 4 présente l'évolution mensuelle des infections respiratoires aigües (en bleu) et des facteurs climatiques en Rouge

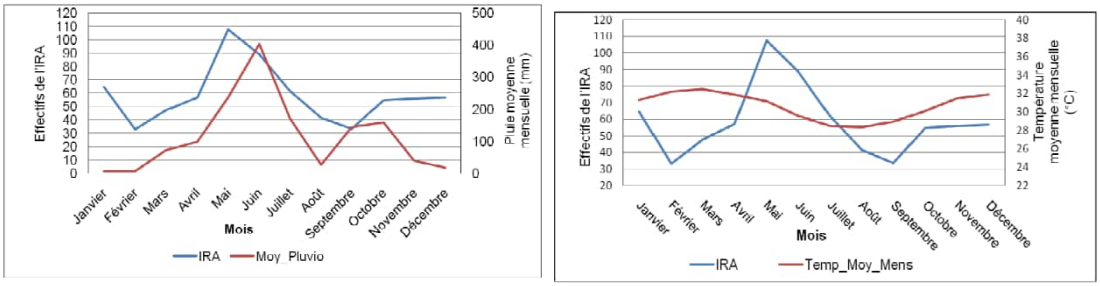


Figure 4. Evolution des infections respiratoires aigües en fonction de la Pluviométrie et de Température sur la période 1984-2024

L'analyse de la figure 4 montre que les infections respiratoires aigües se développent avec l'augmentation de la pluviométrie. Elles régressent lorsque la pluviométrie diminue. On peut donc dire que les hausses pluviométriques sont propices aux infections respiratoires aigües.

L'analyse de la figure 4 présente également que les cas d'infection respiratoire aigüe augmentent lorsque la température moyenne est en hausse, puis chutent pendant les périodes de baisse thermique.

2.4. Etude des Rythmes de la gastroentérite et des facteurs climatiques

La figure 5 présente les courbes d'évolution mensuelle de la gastroentérite (en bleu) et celle des facteurs climatiques (en rouge).

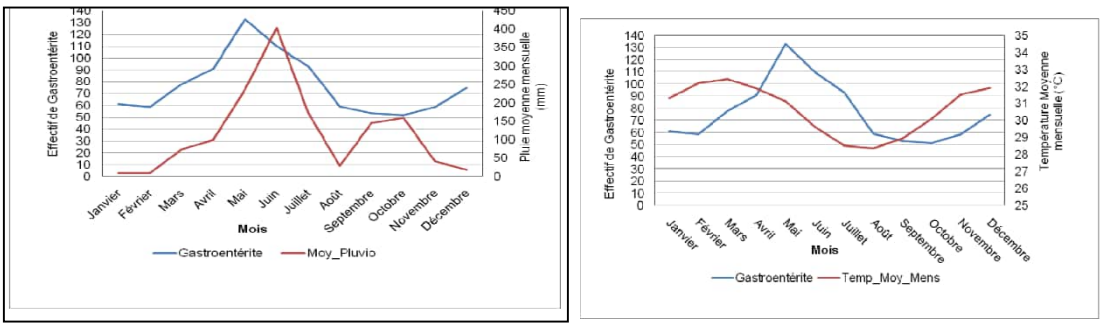


Figure 5 : Evolution de la gastroentérite en fonction de la Pluviométrie et de Température sur la période 1984-2024

L'analyse de la figure 5 montre que les pics de nombre de cas de gastroentérite s'enregistrent au début des périodes de hausses pluviométriques. Pendant ces périodes, l'humidité de l'environnement permet la prolifération des microbes vecteurs de gastroentérite (Babadjidé, 2011). L'analyse de la figure 5 montre aussi que la gastroentérite se développe pendant les périodes où la température est basse.

Discussion

Les principaux facteurs influençant la santé des populations sont les conditions environnementales et climatiques. BOKO et HOUSSOU (1993) ont montré que pendant que le climat affaiblit l'organisme humain, il favorise la prolifération des germes pathogènes de beaucoup de maladies. Cette idée a été confirmée par VISSIN *et al* (2007) qui ont montré l'implication du climat dans l'apparition des affections dans le département du Mono. Ces résultats corroborent les résultats de CLEDJO (1997), qui a établi des rapports entre l'écosystème lacustre, les rythmes hydro-climatiques et les pathologies. Ils ont noté que la variabilité du climat favorise la prolifération de différents types de vecteurs responsables de diverses pathologies affectant l'environnement, qui épuise l'organisme humain en même temps qu'il favorise le développement des germes pathogènes et exalte leur virulence. Pour cela, ils ressortent que de cette double action du climat découle le caractère saisonnier des affections étudiées.

Conclusion

Cette recherche établit une relation entre facteurs climatiques et pathologies. Ce travail a permis non seulement de mieux appréhender les corrélations existantes entre facteurs climatiques et maladies courantes dans la zone côtière Ouidah-Grand-Popo, mais aussi de mettre en exergue la couche de la population la plus vulnérable aux effets du climat. En effet, cette étude a fait ressortir leur caractère saisonnier puis révélé leur période de recrudescence. Le coefficient de corrélation de Bravais Pearson a permis de mesurer l'intensité de la liaison entre ces pathologies et chacun des facteurs climatiques étudiés.

Bibliographiques

Azonhè T., 2009 : Analyse systémique des déterminants environnementaux du paludisme et des maladies diarrhéiques chez les populations du secteur agricole dans la dépression des Tchi au sud du Bénin. Thèse de doctorat unique, Bénin UAC, 238 p.

Babadjidé C.L., 2008 : Gestion endogène de l'eau et état de santé des populations de la Commune de Savè : cas de l'Arrondissement de Bessé". Mémoire de DEA à l'EDP, UAC FLASH, 108p.

Boko M. et Houssou C.S., (1993) : Essai de quantification des ambiances bioclimatiques humaines. Application à la tropicale humide. In : L'ALIZE pp 48-54.

Boko M., (1989) : Pluies et parasitoses intestinales dans la plaine côtière du Bénin, régime pluviométrique et rythme d'infection In Géo-Eco-trop, vol 13, pp.55-63.

Cakpo-Chichi K., 2013 : Impacts socio-économiques et sanitaires de l'occupation des zones humides dans la Commune d'Athiémé. Mémoire de Maîtrise à l'EDP, UAC FLASH, 102p.

Clédjo P., (1993) : Rythmes hydro-climatiques et pathologies en milieu lacustre (sous-préfectures de Sô-Ava et des Aguégués). Mémoire de maîtrise de Géographie, UNB, 149 pages.

Fangnon B., 2007 : "Impact des activités socio-économiques sur l'environnement et la santé des populations à Bembéréké (Borgou)". UAC FLASH, EDP, 108 p.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky, G., 2012. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. Int J Biométéorologie 56, 429–441. https://doi.org/10.1007/s00484-011-0424-7

Huynen M.T., Martens P., Schram D., Kunst A.E., (2001) : "The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population", Environmental Heath perspectives, No. 109, pp. 463-470.

Kalkstein L. S., (2001) : Biométéorologie : étude des liens unissant les temps, le climat et la santé. In Bulletin de l'OMM / volume 50-N°2 pp 147-154.

Pagney P., (1978) : La climatologie Q.S.J. N° 17 Presse Universitaire de France, 127pages

Vissin E., Houssou C. et Boko M. (2007) : Rythme climatique et évolution saisonnière des pathologies dans le département de Mono (Bénin, Afrique de l'Ouest). In : Actes du 1er colloque de l'UAC des sciences, cultures et technologies, géographique, pp 49-58.

IMPACT SANITAIRE DU STRESS THERMIQUE À GRENOBLE ET ÉCHIROLLES (FRANCE)

Sandra ROME [1], Gilles BISSON [2], Annette CASAGRANDE [3] et Julien MARINESCU [4]

[1] Univ. Grenoble Alpes, CNRS, IRD, Grenoble INP, INRAE, UMR 5001 IGE, Grenoble, France [sandra.rome@univ-grenoble-alpes.fr]
[2] Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Aptikal Team, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble, France [gilles.bisson@treensight.com]
[3] Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Misi team, Grenoble INP, LIG, F-38000 Grenoble, France [annette.casagrande@treensight.com]
[4] Treensight Company, Meylan, France [julien.marinescu@treensight.com]

***Résumé** : En France, la température moyenne de l'air a augmenté de 1,7°C depuis 1900. Les zones urbaines subissent ce réchauffement auquel s'ajoute l'îlot de chaleur urbain (ICU) qui exacerbe le stress thermique, notamment lors des vagues de chaleur. Ce travail analyse, à une échelle spatiale très fine, la vulnérabilité sanitaire et socio-démographique à l'ICU estival dans les villes de Grenoble et Échirolles (Isère, France). L'étude mobilise 61 variables issues de plusieurs sources de données à l'échelle spatiale des IRIS : 11 variables climatiques, 4 sanitaires, 15 démographiques et 31 socio-économiques. La méthode utilisée repose sur une Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM) couplée à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) ; l'ensemble est réalisé à l'aide du logiciel Treensight qui permet une exploration interactive et visuelle des résultats. Ceux-ci montrent 7 classes regroupant les IRIS différenciés par l'ICU, les LCZ, la défaveur sociale et la prise de certains médicaments délétères avec la chaleur. Les quartiers à fort ICU ne sont pas nécessairement les plus défavorisés, ni ceux où la médication délétère en cas de chaleur est élevée.*

Mots-clés : *Stress thermique ; Îlot de Chaleur Urbain (ICU), dataviz, Treensight*.

***Abstract: Health impact of heat stress in grenoble and échirolles (France).** In France, the average air temperature has risen by 1.7 °C since 1900. Urban areas are affected by this warming, to which must be added the urban heat island (UHI), which exacerbates heat stress, particularly during heat waves. This study analyzes health and socio-demographic vulnerability to summer UHI in the cities of Grenoble and Échirolles (Isère, France), at a very fine spatial scale. The study mobilizes 61 variables from several data sources at the IRIS spatial scale: 11 climatic variables, 4 health variables, 15 demographic variables and 31 socio-economic variables. The method used is based on a Mixed Data Factorial Analysis (MDFA) coupled with a Hierarchical Ascending Classification (HAC); the whole process is carried out using Treensight software, which enables interactive and visual exploration of the results. These show 7 classes grouping IRIS differentiated by UHI, LCZ, social disadvantage and the use of certain heat-deleterious medications. Neighborhoods with a high UHI are not necessarily the most disadvantaged, nor those with the highest levels of heat-deleterious medication.*

Keywords*: Thermal stress; Urban heat island (UHI), dataviz, Treensight.*

Introduction

Le réchauffement global se manifeste en France, par une augmentation de la température moyenne de l'air de 1,7°C depuis 1900, et chaque décennie depuis 1970 est plus chaude que la précédente (Météo-France, 2022). Les milieux urbains, vu leur morphologie spécifique et les propriétés thermiques de leurs matériaux, subissent plus intensément les effets du réchauffement climatique que les espaces ruraux environnants. Le réchauffement s'y traduit notamment par :

- Une augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur, particulièrement en été (*e.g.* Calvin et al., 2023 ; Soubeyroux et al., 2016). Ces vagues de chaleur sont accrues dans les villes en raison de l'îlot de chaleur urbain (ICU), phénomène météorologique intermittent essentiellement nocturne, caractérisé par une anomalie thermique positive au sein des centres urbains par rapport aux zones rurales environnantes, mis en évidence par Oke (1982), phénomène qui exacerbe la chaleur estivale et le stress thermique ainsi généré.

- Une hausse du nombre de nuits tropicales (*i.e.* température minimale journalière supérieure à 20°C) (*e.g.* Klok et al., 2023) pour les mêmes raisons ;
- Une consommation énergétique amplifiée due au recours accru à la climatisation, entraînant une hausse de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.

Ces effets combinés rendent les villes particulièrement exposées aux impacts du réchauffement global et la chaleur est l'un des risques sanitaires les plus graves engendrés par le changement climatique en milieu urbain (Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020 ; Tong *et al.*, 2021), particulièrement pour les populations vulnérables (*e.g.* Anderson *et al.*, 2018). Or, il est désormais bien établi que ce réchauffement, déjà observé, s'intensifiera au cours du XXIe siècle, avec notamment l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des vagues de chaleur (Calvin *et al.*, 2023 ; Perkins-Kirkpatrick & Lewis, 2020). Par ailleurs, de nombreuses études ont montré que l'intensité de l'ICU estival peut atteindre 5 à 6°C à Paris (*e.g.* Lemonsu *et al.*, 2015) et des valeurs relativement comparables sont relevées dans d'autres villes françaises (*e.g.* Hidalgo *et al.*, 2023), notamment à Rennes (Brabant *et al.*, 2024; Dubreuil *et al.*, 2020), Dijon (Richard *et al.*, 2021), Lyon (Alonso, 2019), Nantes, Grenoble (Bigot *et al.*, 2017; Foissard *et al.*, 2024; Rome *et al.*, 2020), Toulouse et Metz (*e.g.* Hassani & Drogue, 2020).

Aussi, ce travail examine la distribution spatiale de l'intensité de l'ICU grenoblo-échirollois estival moyen, ainsi que la cooccurrence entre les caractéristiques démographiques, la défaveur sociale, les LCZ et la consommation de certains médicaments aux effets sanitaires délétères si associés à la chaleur. Le but consiste à savoir si les quartiers à fort/faible ICU correspondent ou non à des LCZ spécifiques, à des populations défavorisées ou pas, à des quartiers où ces populations ont une surconsommation de médicaments qui aggravent les effets de la chaleur (*e.g.* antihistaminiques et antiasthmatiques). On pose l'hypothèse que les IRIS les plus chauds sont aussi les plus défavorisés (quartiers à proximité de grands axes routiers, fortement imperméabilisés, aux LCZ peu végétalisées).

1. Matériel et méthode

1.1. Zone d'étude

La zone étudiée concerne les villes de Grenoble et d'Échirolles en Isère (France), cumulant respectivement 157 477 et 36 849 habitants en 2021 (INSEE, 2025), analysées ici à l'échelle spatiale des IRIS (Îlots Regroupés pour l'Information Statistique, lien ici), unités qui respectent des critères géographiques et démographiques aux contours identifiables sans ambigüité et stables dans le temps. Le travail se déroule dans le cadre du projet CASSANDRE financé par l'ADEME (Figure 1) en partenariat avec lesdites villes suscitées.

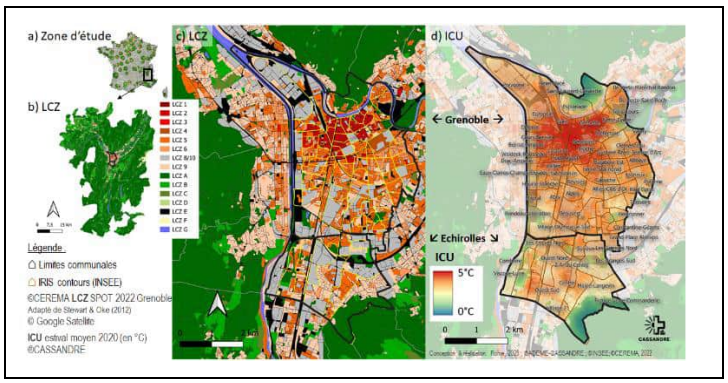


Figure 1. Localisation et présentation de la zone d'étude a) en France, b) au sein de la Métropole ; c) LCZ dans les 82 IRIS et d) intensité de l'ICU moyen estival (2020) à Grenoble et Echirolles.

L'objectif final consiste à aider la priorisation de l'action publique à effectuer, soit en termes de réduction de la chaleur (*e.g.* végétalisation), soit en pointant les zones de forte vulnérabilité sanitaire des habitants concernés selon leur exposition aux extrêmes de température ou par la prise médicamenteuse accrue, voire les deux.

1.2. Mobilisation de 61 variables quantitatives

L'étude s'appuie sur 11 variables climatiques (intensité de l'ICU estival moyen 2020 et % de Zones Climatiques Locales (LCZ) par IRIS), ainsi que sur 4 indicateurs sanitaires (Complémentaire santé solidaire -C2S-, consommations de psychotropes, antiallergiques, antiasthmatiques), 12 variables sociales (diplôme, PCS), 15 démographiques (population par tranches d'âge, densité), 7 économiques (revenus, défaveur, chômage), 4 liées aux ménages et 8 au logement (superficie), toutes téléchargées en 2024 à l'échelle spatiale des 82 IRIS de Grenoble et d'Échirolles (Tableau 1).

Tableau 1. Type et sources des données utilisées à Échirolles et Grenoble à l'échelle spatiale des IRIS.

Code indice	Signification, année	Organisme, source
ICU	Intensité de l'ICU estival moyen de 2020 (en °C)	Projet CASSANDRE (in Rome *et al*., 2023) ; ICU calculé entre 62 capteurs thermiques et la station de Grenoble Le Versoud au moment le plus froid de la nuit et par vent faible < 3 $m.s^{-1}$; adapté de Foissard *et al*., 2022.
LCZ	Part de la surface de l'IRIS classée selon les 10 Local Climate Zone à Grenoble & Échirolles, 2022. Fond de carte : LCZ SPOT, 2022	Pourcentages calculés à partir de : Ville de Grenoble et X. Foissard (2022) et de Ville d'Échirolles et X. Foissard (2022). CEREMA (2024)
FDep	Indice de défavorisation sociale, 2019	INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale) Lien : https://public.opendatasoft.com/explore/dataset/indice-de-defavorisation-sociale-fdep-par-iris/information/
Santé, socio, démo	4 indicateurs sanitaires ; 15 démographiques, 12 sociaux, 8 sur le logement, 4 sur les ménages, 2022	Observatoire Régional de la Santé Auvergne-Rhône-Alpes : BALISES (BAse Locale d'Informations Statistiques En Santé) ; Lien : https://www.balises-auvergne-rhone-alpes.org/
Eco	7 indicateurs économiques, 2020.	INSEE, https://www.insee.fr téléchargées en 2024

2. Méthode de traitement statistique

La méthode utilisée pour exploiter ces données repose sur une Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM) couplée à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). L'AFDM est une généralisation de l'ACP normée au traitement des variables actives quantitatives et qualitatives. L'ensemble de ces analyses a été réalisé à l'aide du logiciel Treensight (www.treensight.com) qui permet d'explorer de façon interactive, aisée et visuelle les résultats. Dans le logiciel, seules 7 variables sont rendues actives sur les 61 entrant dans la base de calcul. Ce choix de 7 variables dites actives permet de définir les axes factoriels ; les autres variables de la base de données sont considérées comme illustratives afin d'enrichir leur interprétation sans modifier les axes. Les IRIS sont ainsi regroupés à l'aide des variables [ICU, Taux_C2S, antiallergique, antiasthmatique, LCZ 2, LCZ 4, LCZ 5] et les caractéristiques socio-démographiques sont utilisées pour affiner la description des ces regroupements. Ces LCZ 2, LCZ 4, LCZ 5 correspondent aux zones de plus forte densité du bâti où l'ICU est logiquement plus élevé. Il s'agit donc de voir si les IRIS les plus chauds et urbanisés sont également ceux où la prise médicamenteuse et/ou la C2S sont élevées, supposant alors un risque sanitaire accru lors des fortes chaleurs estivales.

2. Résultats

2.1. Résultats de l'AFDM

L'analyse des valeurs propres (Tableau 2) indique de retenir les 3 premiers axes factoriels, couvrant environ 80% de la variance totale cumulée, dont la signification est présentée en tableau 3.

L'axe 1 est principalement structuré par les variables « *antiallergique* », « *antiasthmatique* » et « *ICU* ». Cet axe met en évidence une opposition nette entre la prescription de traitements respiratoires (allergiques et asthmatiques) et l'intensité de l'îlot de chaleur urbain. Cette structure suggère que les zones à forte intensité d'ICU sont associées à une moindre prise de traitements anti-allergiques et anti-asthmatiques. L'axe exprime donc un gradient majeur entre la prise en charge médicale des pathologies respiratoires et l'exposition thermique urbaine.

L'axe 2 est structuré de façon dominante par la variable *LCZ 5* qui représente la part de zones *LCZ 5* (ensemble d'immeubles espacés) dans l'IRIS. Cet axe exprime donc un gradient marqué entre les IRIS caractérisés par une forte proportion de tissu urbain de faible densité et les autres. Il reflète l'opposition entre des environnements à faible densité (bâti espacé, végétation interstitielle) et d'autres typologies urbaines plus denses ou différentes.

Tableau 2. Valeurs propres issues de l'AFDM sur les 7 axes factoriels.

Axes factoriels	Valeur propre	Variance expliquée	% de variance expliquée	% cumulé
Axe _1	3.45632	3.49899	**49.38**	**49.38**
Axe _2	1.39213	1.40931	**19.89**	**69.26**
Axe _3	0.805973	0.815923	**11.51**	**80.78**
Axe _4	0.697704	0.706318	9.97	90.74
Axe _5	0.344832	0.349089	4.93	95.67
Axe _6	0.215668	0.218331	3.08	98.75
Axe _7	0.0873773	0.088456	1.25	100

L'axe 3 est structuré principalement par la part de *LCZ 4* et la variable *antiasthmatique*. *LCZ 4* représente la proportion de microclimats dudit type (zones urbaines de densité moyenne) dans les IRIS. Cet axe met donc en évidence une opposition entre l'importance de ces tissus urbains de densité intermédiaire et la prescription de traitements antiasthmatiques. L'axe 3 pourrait refléter une interaction entre morphologie urbaine et santé respiratoire, suggérant que les IRIS comportant davantage de zones de densité moyenne présentent un moindre recours aux traitements anti-asthmatiques, ou inversement, que les zones moins dotées en *LCZ 4* sont associées à des niveaux plus élevés de prescription.

Tableau 3. Analyse de la signification des 3 premiers axes factoriels.

Axes factoriels	Variables dominantes	Interprétation	% de variance expliquée
Axe_1	Antiallergique (+), antiasthmatique (+), ICU (−)	Opposition entre prise médicamenteuse et intensité de l'îlot de chaleur urbain	49,38%
Axe_2	LCZ 5 (+)	Influence du type de zone urbaine classée en LCZ 5	19,89%
Axe_3	LCZ 4 (−), antiasthmatique (+)	Interaction entre tissu urbain (LCZ 4) et traitement de l'asthme	11,51%

2.2. Une discrétisation climatique et sanitaire en 7 classes de groupes urbains

L'AFDM couplée à la CAH a ainsi permis de distinguer sept groupes d'IRIS, différenciés par l'intensité de l'ICU, les caractéristiques socio-démographiques et la prise médicamenteuse (Figure 2). Le logiciel affiche les résultats par ordre décroissant de significativité des variables. Ici, l'ICU varie de +1,1°C dans l'IRIS le plus frais situé au sud d'Echirolles prédominé par la LCZ D, à +4,78°C dans l'IRIS Génissieu. Le cluster le plus chaud contient 23 IRIS situés dans le cœur de Grenoble prédominé par la LCZ 2, marqué par une population jeune (18-39 ans) très diplômée (Bac+5), une sur-représentation de cadres et professions intellectuelles supérieures (CPS 3, 9ème décile de revenus), des logements plutôt petits (30-40 m²), de ménages seuls et une faible consommation d'antiallergiques.

Contrairement à l'hypothèse émise, ce centre urbain correspond aux quartiers socialement favorisés (faible indice de défaveur), affichant un ICU plus élevé que les quartiers les plus défavorisés marqués par des revenus bas, un taux de chômage élevé et une forte proportion de

familles avec enfants, qui présentent un ICU plus faible, variant entre +2,7° et +3,4°C par rapport à la campagne (Grenoble Le Versoud). C'est dans cette « diagonale de la défaveur » du sud de Grenoble et du nord d'Échirolles que la consommation d'antiallergiques et d'antiasthmatiques est la plus forte, associée à la LCZ 4.

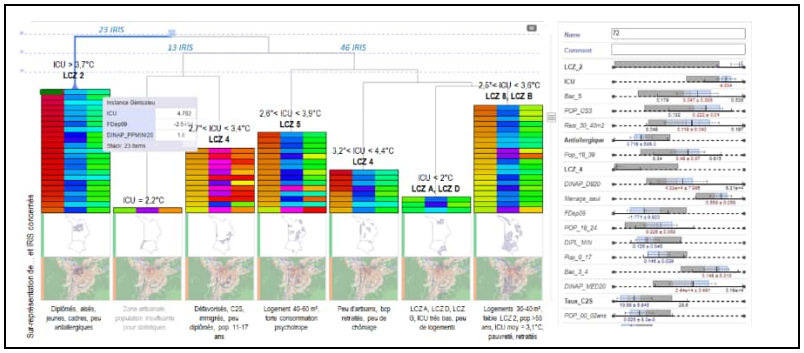


Figure 2. Dendrogramme issu de l'Analyse Factorielle des Données Mixtes (AFDM) couplée à une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) pour les 82 IRIS. En rouge sur les box-plot figurent les résultats significatifs.

Discussion conclusive

Cette étude met en évidence la complexité des interactions entre l'îlot de chaleur urbain (ICU), les microclimats (LCZ), les caractéristiques urbaines et les inégalités démographiques, économiques et sociales à Grenoble et Échirolles. L'analyse de l'intensité de l'ICU révèle une variation spatiale significative, avec des quartiers aux profils socio-économiques distincts affichant des intensités de chaleur différentes ; ces résultats confirment ceux amorcés dans un précédent travail (Rome *et al.*, 2023). De plus, les zones centrales sont les plus favorisées socialement et celles soumises à un ICU plus élevé (entre +3 et +4,8°C par rapport à la station rurale de référence) ; les habitants y sont donc davantage exposés à la chaleur urbaine, malgré leur meilleure capacité d'adaptation *a priori*. Ce type de constat est également trouvé en région parisienne par exemple, où l'exposition à la chaleur et la défaveur sociale ne sont pas associées (Forceville *et al.*, 2024).

Cette recherche souligne la nécessité d'une action publique ciblée pour réduire les risques sanitaires liés à la chaleur, notamment dans les quartiers les plus vulnérables, en tenant compte des spécificités locales de chaque zone urbaine.

Remerciements : Ce travail est réalisé dans le cadre du projet CASSANDRE financé par l'ADEME (Agence française de la transition écologique). La base de données a été préparée par E. Méry, stagiaire de Master 1 effectué dans le projet CASSANDRE. Les analyses ont été réalisées grâce à au logiciel Treensight (https://www.treensight.com/) à titre gracieux.

Bibliographie

Alonso, L. (2019). The Use of Citizen Science in the Characterization of the Lyon's Urban Heat and Cool Islands. *2019 20th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)*, 387–388. https://doi.org/10.1109/MDM.2019.00-18

Anderson, G. B., Oleson, K. W., Jones, B., & Peng, R. D. (2018). Projected trends in high-mortality heatwaves under different scenarios of climate, population, and adaptation in 82 US communities. *Climatic Change*, ***146***(3–4), 455–470. https://doi.org/10.1007/s10584-016-1779-x

Bigot, S., Duché, S., Madelin, M., & Rome, S. (2017). Etude du climat urbain : Pour une mise à disposition de nouveaux services climatiques. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, ***68***((2017/1)). https://doi.org/10.25518/0770-7576.4505

Brabant, C., Dubreuil, V., & Dufour, S. (2024). Evaluation of spatial interpolation techniques for urban heat island monitoring in small and medium sized cities. *Frontiers in Built Environment*, ***10***, 1455047. https://doi.org/10.3389/fbuil.2024.1455047

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., *et al*., (2023). *IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.* (First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Dubreuil, V., Foissard, X., Nabucet, J., Thomas, A., & Quénol, H. (2020). Fréquence et intensité des îlots de chaleur à Rennes : Bilan de 16 années d'observations (2004-2019). *Climatologie*, ***17***, 6. https://doi.org/10.1051/climat/202017006

Foissard, Xavier, Sandra Rome, Sylvain Bigot, et Anne-Cécile Fouvet. 2022. « Réseau de mesures et analyses spatio-temporelles de l'îlot de chaleur urbain grenoblois : l'été 2020 ». In *Le changement climatique, les risques et l'adaptation*. Vol. 35. Toulouse, France. http://www.meteo.fr/cic/meetings/2022/aic/resumes/climat_urbain_foissard.pdf.

Foissard, X., Rome, S., Bigot, S., Rousset, E., & Fouvet, A.-C. (2024). A new high spatial density temperature dataset in the Grenoble alpine valley (France) for urban heat island investigation and climate services dedicated to municipalities purposes. *Data in Brief*, 110553. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110553

Forceville, G., Lemonsu, A., Goria, S., Stempfelet, M., Host, S., Alessandrini, J.-M., Cordeau, E., & Pascal, M. (2024). Spatial contrasts and temporal changes in fine-scale heat exposure and vulnerability in the Paris region. *Science of The Total Environment*, *906*, 167476. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167476

Hassani, N., & Drogue, G. (2020). Mesure et spatialisation de l'îlot de chaleur urbain dans l'aire urbaine de Metz Métropole : Premiers résultats de la campagne de mesure 2019. *Climatologie*, ***17***, 8. https://doi.org/10.1051/climat/202017008

Hidalgo, J., Touati, N., Haouès-Jouve, S., Jegou, L., Bretagne, G., Bocher, E., Masson, V., Mayis, A., Jougla, R., Petit, G., & Schoetter, R. (2023). Mapping the urban climate to address summer comfort management in French urban planning documents. *Cybergeo*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.40319

INSEE. (2025). *Statistiques et études* [Dataset]. https://www.insee.fr/fr/statistiques/

Klok, S., Kornus, A., Kornus, O., Danylchenko, O., & Skyba, O. (2023). Tropical nights (1976–2019) as an indicator of climate change in Ukraine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1126*(1), 012023. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1126/1/012023

Lemonsu, A., Viguié, V., Daniel, M., & Masson, V. (2015). Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France). *Urban Climate*, ***14***, 586–605. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.10.007

Météo-France. (2022, June 27). *De nouvelles normales pour qualifier le climat en France*. https://meteofrance.com/actualites-et-dossiers/actualites/climat/de-nouvelles-normales-pour-qualifier-le-climat-en-france

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *108*(455), 1–24. https://doi.org/10.1002/qj.49710845502

Perkins-Kirkpatrick, S. E., & Lewis, S. C. (2020). Increasing trends in regional heatwaves. *Nature Communications*, *11*(1), 3357. https://doi.org/10.1038/s41467-020-16970-7

Richard, Y., Pohl, B., Rega, M., Pergaud, J., Thevenin, T., Emery, J., Dudek, J., Vairet, T., Zito, S., & Chateau-Smith, C. (2021). Is Urban Heat Island intensity higher during hot spells and heat waves (Dijon, France, 2014–2019)? *Urban Climate*, ***35***, 100747. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100747

Rome, S., Bigot, S., Foissard, X., Madelin, M., Duche, S., & Fouvet, A.-C. (2020). Les deux épisodes caniculaires de l'été 2019 à Grenoble : Constat et perspective pour une gestion des extrêmes thermiques futurs. *Climatologie*, ***17***, 12. https://doi.org/10.1051/climat/202017012

Rome, S., Foissard, X., Dubus, N., Bicout, D., Bigot, S., Fouvet, A.-C., & Rousset, E. (2023). *Exposition socio-spatiale au stress thermique à Échirolles et Grenoble (Isère).* (Rapport d'avancement n°2 du projet CASSANDRE (CAniculeS, SANté et Densité de REseaux météorologiques) ; 40 pages). ADEME.

Soubeyroux, J.-M., Ouzeau, G., Schneider, M., Cabanes, O., & Kounkou-Arnaud, R. (2016). Les vagues de chaleur en France : Analyse de l'été 2015 et évolutions attendues en climat futur. *La Météorologie*, *8*(94), **45**. https://doi.org/10.4267/2042/60704

Tong, S., Prior, J., McGregor, G., Shi, X., & Kinney, P. (2021). Urban heat: An increasing threat to global health. *BMJ*, n2467. https://doi.org/10.1136/bmj.n2467

EPISODES CLIMATIQUES ET SANTE DES FEMMES DANS LA COMMUNE DE NATITINGOU AU NORD OUEST DU BENIN

Tébouwa Gislaine SANGA PEMA[1], Toundé Roméo Gislain KADJEGBIN [2] et Hadiza KIARI FOUGOU [3]

[1]Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ''ECD'' de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) ; gispema@gmail.com

[2]Laboratoire d'Etudes des Dynamiques Urbaines et Régionales (UAC), Bénin ; kadjegbinr@yahoo.com

[3]Institut Supérieur en Environnement et Ecologie (IS2E) de l'Université de Diffa, Niger ; hadiza.kiarifougou@gmail.com

Résumé : *Les femmes de la Commune de Natitingou sont confrontées à un fardeau élevé des maladies hydriques en lien avec les épisodes climatiques. La recherche documentaire, les investigations socio anthropologiques réalisées à l'aide des questionnaires auprès de 271 ménages et les entretiens avec les acteurs du secteur de la santé ont été les étapes de la démarche méthodologique adoptée. Les données climatologiques (hauteurs de pluies et températures mensuelles) et les statistiques épidémiologiques ont permis d'analyser la corrélation qui existe entre les deux variables. Les résultats ont révélé que la corrélation est positive entre les cas de paludisme déclarés dans les statistiques et les hauteurs de pluies. Les cas d'infections respiratoires aiguës (IRA) sont élevés en octobre (6474 cas d'IRA). Les IRA sont négativement corrélées aux précipitations (r = -0,5255) et positivement corrélés aux températures de l'air (r=0,5714).*

Mots-*clés* *: Commune de Natitingou, épisodes climatiques, santé des femmes, vulnérabilité.*

CLIMATIC EPISODES AND WOMEN'S HEALTH IN THE COMMUNE OF NATITINGOU IN NORTHWEST BENIN

Abstract:. *Women in the Commune of Natitingou face a high burden of waterborne diseases linked to climatic episodes. Documentary research, socio-anthropological investigations carried out using questionnaires among 271 households and interviews with health sector stakeholders were the steps of the methodological approach adopted. Climatological data (monthly rainfall and temperature) and epidemiological statistics made it possible to analyze the correlation between the two variables. The results revealed that there is a positive correlation between malaria cases reported in the statistics and rainfall. Cases of acute respiratory infections (ARI) are high in October (6474 cases of ARI). ARI are negatively correlated with precipitation (r=-0.5255) and positively correlated with air temperature (r = 0.5714).*

Keywords*: Municipality of Natitingou, climatic episodes, women's health, vulnerability.*

Introduction

Le secteur de la santé est vulnérable aux trois types d'impacts des changements climatiques que sont : la variabilité pluviométrique et thermique, les catastrophes hydro-climatiques et la montée du niveau de la mer. De plus, ces dernières années ont vu la reconnaissance des liens entre les changements climatiques et la prévalence de plusieurs maladies infectieuses et des maladies non transmissibles (MS, 2020). Dans le domaine intertropical, les irrégularités interannuelles des précipitations influencent fortement le calendrier sanitaire et une réduction du rendement des méthodes de gestion des risques de santé (Dansou et Odoulami, 2015). Le Bénin, pays d'Afrique de l'Ouest, est particulièrement exposé à ces aléas climatiques et météorologiques : pluies violentes et tardives, inondations, poches de sécheresse, chaleur excessive ont un impact sur la santé (MS, 2025). La Commune de Natitingou, située au nord-ouest du pays, est marquée par une forte variabilité interannuelle des précipitations. Cette variabilité est caractérisée par la baisse et la mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies, doublée d'une augmentation thermique perturbant les activités des femmes (Onibon Doubogan et *al.,* 2016). Ces changements affectent en particulier la santé des femmes, notamment dans les zones reculées comme à Natitingou où les maladies hydriques (paludisme, infections

respiratoires aiguës - IRA) sont en nette augmentation. De plus, les actions menées par les populations, les autorités étatiques et non gouvernementales sont inefficaces face à l'ampleur du risque.

La figure 1 présente la situation géographique de la commune de Natitingou.

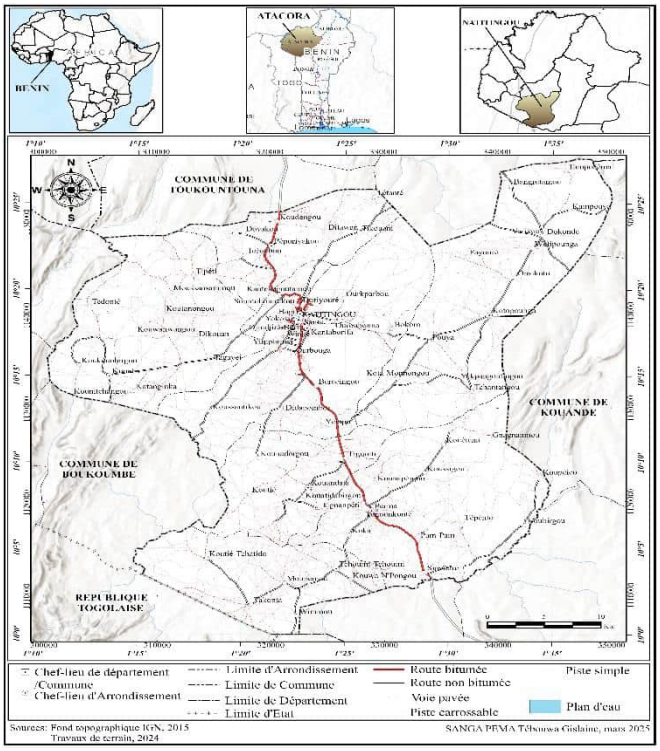


Figure 1. Situation géographique de la commune de Natitingou (Nord-Ouest du Bénin).

Dans ce contexte, l'objectif consiste à étudier le lien potentiel entre les variations climatiques (pluviométrie, température) et la prévalence de certaines maladies hydriques (paludisme, IRA) dans la commune de Natitingou, et notamment chez les femmes. Les résultats permettront d'identifier les périodes à risque et de proposer des pistes de prévention adaptées.

1. Données et méthodes

1.1. Données utilisées

Trois types de données sont mobilisés :

- les données climatiques (hauteurs mensuelles de pluies et température de l'air à la station de Natitingou sur la période de 1991-2023 sont extraites de Météo-Bénin.

- les données épidémiologiques regroupent les statistiques des maladies notamment des affections d'origines hydriques enregistrées au niveau des femmes et collectées aux centres de santé publics ainsi que dans les 271 ménages enquêtés identifiés sur 17772 ménages que compte la commune de Natitingou (INStaD, 2023) à partir du protocole statistique de Schwartz (1995). Elles ont servi à une brève analyse de l'évolution des maladies hydriques pendant les saisons climatiques du secteur étudié.

- les données socio-anthropologiques sont relatives aux données sur les conditions de vie des femmes du milieu de recherche favorisant la prévalence des pathologies.

1.2. Corrélation linéaire de Pearson

L'ensemble des statistiques est effectué sous SPSS, version 17.0. L'analyse repose sur des statistiques descriptives de base des différents caractères disponibles (fréquences des réponses pour les caractères qualitatifs ; moyennes et erreur-type pour les variables quantitatives : hauteurs de pluies moyennes mensuelles, températures moyennes mensuelles). Sont également calculés les coefficients de variation des différentes séries climatologiques et des données sur les maladies hydriques dans la Commune de Natitingou. La recherche de liens statistiques entre paramètres climatiques et maladies hydriques est effectuée par le calcul de coefficients de corrélation linéaire (r) de Pearson montrant l'intensité et le sens de la relation (équation 1) ; celui-ci varie entre -1 et +1 et pour un risque d'erreur α = 5% et 10 degrés de liberté, le seuil de significativité est de | 0,5795 |.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}}$$

Équation 1. Equation du coefficient de corrélation linéaire de Pearson.

2. Résultats et discussions

2.1. Episodes climatiques et types de temps dans la commune de Natitingou

La figure 2 présente le diagramme ombro-thermique de la commune de Natitingou. Les hauteurs de pluies sont abondantes entre juin et septembre. Le maximum est enregistré en août cumulant 279, 23 mm de pluie en moyenne ; la saison sèche s'étend d'octobre à avril. La température moyenne varie entre 25,4°C en milieu de saison des pluies à 30,5°C en fin de saison sèche correspondant à l'équinoxe de mars ; l'amplitude thermique annuelle est faible, de 2,3°C conformément à la faible latitude.

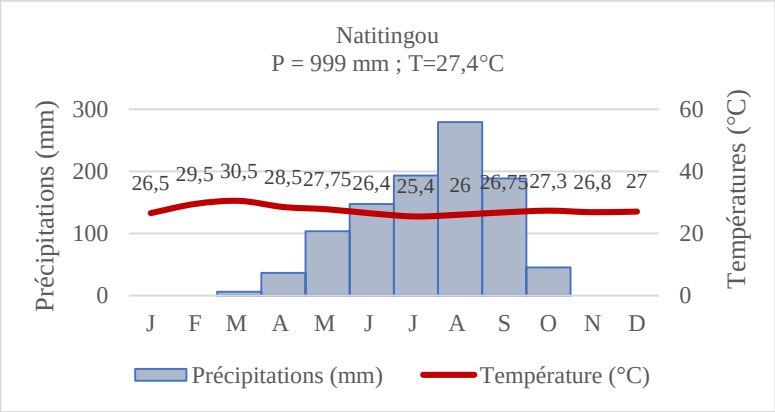


Figure 2. Diagramme ombro-thermique la Commune de Natitingou entre 1991 et 2023.

Source des données : Météo-Bénin, juillet 2024.

Cette variation pluvio-thermique détermine les épisodes climatiques, correspondant à une période de temps, généralement de quelques jours à quelques semaines, durant laquelle les conditions météorologiques s'écartent significativement des moyennes saisonnières habituelles pour une région. Plusieurs épisodes climatiques sont identifiés dans la commune de Natitingou. Il s'agit de l'harmattan (décembre à février avec une forte intensité), période caractérisée par de fortes chaleurs avec une température diurne de 39,31°C entre mars et avril) et de la saison pluvieuse (début saison pluvieuse entre avril et mai, cœur de saison pluvieuse entre juin et août et fin de saison pluvieuse entre septembre et octobre).

De plus, le tableau 1 fait la synthèse de ces épisodes et les types de temps bioclimatiques associés. Les informations sont compilées à partir d'observations de terrain ; les mois de juin à septembre sont les plus pluvieux. Les maximas thermiques sont observés en fin de saison sèche au mois de mars et avril. Cette situation climatique rend les femmes sensibles aux maladies hydriques notamment le paludisme et les Infections Respiratoires Aiguës (IRA). Selon Onibon Doubogan et *al.* (2016), la commune de Natitingou connaît un contexte thermique difficile, ce qui entretient une ambiance bioclimatique peu confortable pour les femmes.

Tableau 1. Description des épisodes climatiques annuels et traits bioclimatiques associés à Natitingou.

Mois	Episodes climatiques	Traits bioclimatiques dominants
Janvier	Harmattan	Temps frais et brumeux dans la matinée et très chaud dans l'après-midi. Le ciel est peu nuageux avec des vents faibles et une durée journalière moyenne d'ensoleillement de 7 heures. Les pluies sont rares ou quasi absentes.
Février		Temps chaud et peu humide avec des activités pluvio-orageuses. Les hauteurs pluviométriques sont faibles avec généralement une réduction de la visibilité sous brumes de poussière, sèche ou humide et/ou brouillard. Les matinées sont marquées par une petite fraîcheur ; dans l'après-midi règne une forte chaleur.
Mars	Chaleur torride	Les pluies sont rares et de faibles intensités. Jours et nuits enregistrent de fortes températures (24,6 à 39,2°C) traduisant des sensations de grande chaleur.
Avril		Temps très chaud et ensoleillé avec de faibles activités pluvio-orageuses. Les hauteurs pluviométriques sont faibles. Jours et nuits sont marqués par des températures élevées (26,5 à 39,3°C) traduisant des sensations de forte chaleur.
	Période de transition entre la saison sèche et humide	Temps chaud et ensoleillé avec une activité pluvio-orageuse modérée. Les jours et les nuits sont marqués par une sensation de chaleur Les matinées températures sont élevées et varie entre 22°C et 34 °C. La visibilité est souvent réduite sous bruine humide et ou brouillard. Le ciel est peu nuageux à nuageux.
Mai		
Juin	Saison des pluies	Temps chaud avec activités pluvio-orageuses pouvant être parfois intenses (147,26 mm par mois). Les hauteurs de pluies sont moyennes avec des rosées au lever du jour. Le ciel est très nuageux avec une courte durée de l'insolation d'environ 4 heures en moyenne.
Juillet		Temps chaud et pluvieux. Les pluies sont fréquentes et abondantes, survenant surtout la nuit. Matinées et nuits sont parfois caractérisées par des sensations de fraîcheur.
Août		Temps chaud et pluvieux avec une forte quantité journalière de précipitation. Le ciel est souvent très nuageux. La durée d'insolation est faible, en moyenne 3,5 h.
Septembre	Période de transition entre la saison pluvieuse et la saison sèche	Temps chaud et pluvieux. Les pluies sont importantes avec un ciel très nuageux. La durée journalière de l'insolation est relativement longue (en moyenne de 6 heures) et les nuits sont marquées par une sensation de fraîcheur.
Octobre		Temps chaud et pluvieux avec d'importantes hauteurs de pluies (188,20 mm). Le ciel est très nuageux mais avec une durée journalière de l'insolation relativement longue (en moyenne de 6 heures). Les nuits sont marquées par une sensation de fraîcheur.
Novembre	Début de la grande saison sèche	Temps chaud avec quelques manifestations orageuses accompagnées parfois de faibles pluies. La durée de l'insolation est élevée et dépasse en moyenne 7 heures et demie. L'ambiance thermique diurne et nocturne est chaude.
Décembre	Harmattan	Temps frais et brumeux en matinée et chaud l'après-midi. Les nuits sont marquées par des sensations de fraîcheur. Le ciel est peu nuageux avec des vents faibles.

Source : *Synthèse de la documentation et travaux de terrain, (SANGA-PEMA, 2024).*

2.2. Variation des maladies hydriques et des paramètres climatiques à Natitingou

Les conditions climatiques, telles que la température et les précipitations jouent un rôle crucial dans la prévalence du paludisme et des infections respiratoires aigües (IRA). La figure 3 présente les variations climatiques mensuelles et la transmission de l'agent pathogène du paludisme (parasite *Plasmodium*) chez les femmes dans la commune de Natitingou, tandis que la figure 4 présente les variations climatiques mensuelles et la transmission des agents pathogènes respiratoires. Il apparaît que les cas du paludisme les plus élevés ont été enregistrés pendant les mois de fortes pluies, à savoir entre juin et octobre ; en revanche, la température élevée (28,5°C) est concomitante d'une baisse du nombre de cas de paludisme (Figure 3). De plus, les femmes souffrent des IRA durant toute l'année, avec un pic principal en octobre (saison pluvieuse) et un second pic en mars pendant la saison sèche (figure 4).

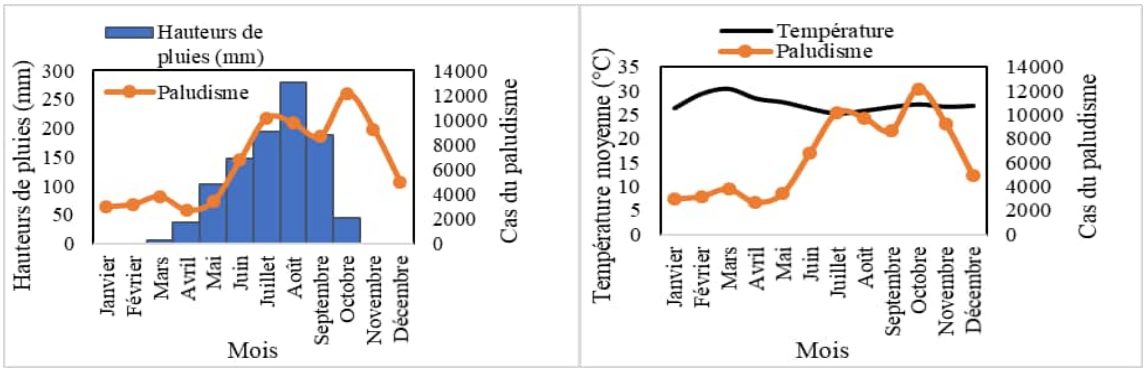


Figure 3. Variation du paludisme et des paramètres climatiques dans la commune de Natitingou.
Source : Traitement des données DDS-Atacora et Météo-Bénin, 2024

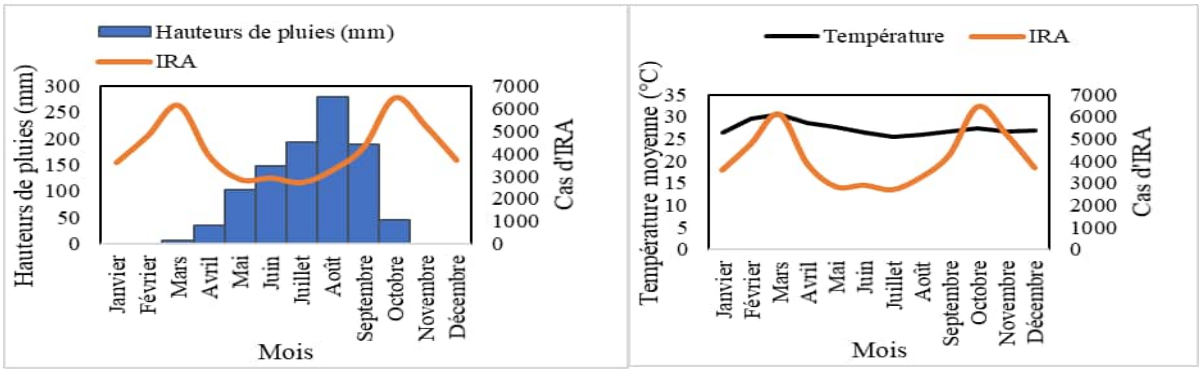


Figure 4. Variation des IRA et des paramètres climatiques dans la commune de Natitingou.

Source des données : DDS-Atacora et Météo-Bénin, 2024.

De même, les femmes souffrent d'infections respiratoires aiguës surtout de novembre à février, en période d'harmattan, avec un pic en novembre (5233 cas d'IRA). Ces mois sont caractéristiques de la saison sèche. Le pic observé au cours du mois de mars (30,5°C) se justifie par la période de forte chaleur qui s'installe après le passage de la masse d'air continental (harmattan), qui transporte un vent sec avec la poussière. Les femmes enceintes sont particulièrement vulnérables. Selon Daba (2022), les affections respiratoires aiguës hautes et basses sévissent durant les mois de septembre et d'octobre (saison pluvieuse) avec une forte prévalence en octobre et de novembre à février en raison de la présence de l'harmattan.

2.3. Résultats de la corrélation entre paramètres climatiques et certaines maladies hydriques

L'intensité de la relation (r de Pearson) entre paramètres climatiques et infections palustres d'une part, et respiratoires aigües d'autre part, est présenté sur le tableau 2.

Tableau 2. Résultats du test de corrélation r de Pearson entre les paramètres climatiques et les affections.

r (Pearson)	Précipitations (mm)	Température (°C)	Paludisme (nombre de cas)	IRA (nombre de cas)
Précipitations (mm)	1			
Température (°C)	-0,5856	1		
Paludisme (nombre de cas)	0,5161**	-0,5937	1	
IRA (nombre de cas)	-0,5255	0,5714**	0,1761*	1
**corrélation moyenne	*corrélation faible	r=coefficient de corrélation de Pearson		

Source des données : Météo-Bénin et Ministère de la Santé, 2024.

Le paludisme est modérément corrélé avec les précipitations (r=0,5161) ce qui signifie que lorsque les précipitations sont élevées (en saison des pluies), les cas de paludisme le sont également chez les femmes de la commune de Natitingou ; l'infection palustre s'explique par la présence de mares et autres points d'eau favorisant la prolifération de gites larvaires pour les

anophèles, moustiques vecteurs du *Plasmodium*. Par ailleurs, la corrélation négative entre température de l'air (r = -0,5937) et paludisme révèle que les températures élevées sont concomitantes d'une diminution des cas d'impaludation. La variation du paludisme est expliquée par d'autres facteurs que la seule variation des facteurs climatiques dont la pluie en particulier.

Les infections respiratoires aiguës (IRA) sont faiblement corrélées aux hauteurs de pluies (r = - 0,5255) et modérément corrélées à la température de l'air (r = 0,5714). Ainsi, ces IRA prédominent en saison sèche ; leur augmentation semble associée à la présence de l'harmattan qui souffle les poussières irritantes et morbides, bien que la corrélation négative entre les précipitations et les cas d'IRA demeure non significative.

Conclusion

Le régime pluviométrique de la commune de Natitingou (NW du Bénin) est caractérisé par deux saisons à savoir une grande saison sèche allant de novembre à avril et une grande saison pluvieuse allant de mai à octobre. Les fortes pluies ne sont pas significativement corrélées à la recrudescence de pathologies palustres alors que l'humidité occasionne la multiplication des gîtes larvaires et des agents pathogènes du paludisme, ce qui fragilise l'état de santé des femmes. La faible intensité de corrélation suggère que les conditions climatiques ne sont pas les seuls éléments responsables de l'évolution temporelle du paludisme et des IRA. Ces IRA sont corrélées à la faiblesse des pluies en saison sèche. La qualité de l'air, l'hygiène et les conditions de vie peuvent contribuer à leur propagation. Selon E. Tossou et *al.* (2022), la mauvaise qualité des eaux responsable des IRA est due à la contamination de la nappe phréatique par la proximité des latrines, des ordures et des eaux usées. En effet, l'Organisation Mondiale de la Santé (2017) montre régulièrement les relations entre le manque d'hygiène et d'assainissement et les maladies surtout hydriques.

Références bibliographiques

DABA Moussilima, 2022 : *Variabilité climatique et état de santé des populations dans la zone sanitaire Kandi Gogounou et Ségbana*. Thèse de doctorat en Gestion de l'environnement, EDP/FLASH/UAC, 221 p.

DANSOU S. Brice et ODOULAMI Léocadie, 2013 : Paramètres climatiques et occurrence du paludisme dans la commune de Pobè, au sud-est du Bénin. *XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie,* Liège, pp129-132

MS, 2020 : *Plan national d'adaptation aux changements climatiques Secteur Santé*, Rapport final, Cotonou, 46 p.

MS, 2025 : *Plan National de Développement Sanitaire (PNDS) 2025-2029*, Rapport final, Cotonou, 164 p.

OMS, 2017, R*apport annuel : Assainissement approprié pour les communautés à très faibles revenus*, volume 1, Genève, 78 p.

ONIBON DOUBOGAN Yvette, OUINDEYAMA YOTTO Tchoropa Aubain, YABI Ibouraïma, 2016 : Vulnérabilité des femmes aux contraintes climatiques dans la commune de Natitingou au Nord- ouest du Bénin. *Notes scientifiques, homme et société*, N°5, pp149-171

TOSSOU Evariste, CHOUTI Waris Kéwouyèmi et OSSENI Sèmiyou, 2022: Evaluation of the chemical and bacteriological parameters of well and borehole waters in the city of Natitingou in the north west of Benin. *Journal of Fundamental and Applied Sciences, 14(3), pp518-538*

RYTHME PLUVIOMETRIQUE ET REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DU PALUDISME DANS LA ZONE SANITAIRE DASSA-GLAZOUE AU SUD DU BENIN

Joseph SATONDJI[1].*, Patrice Maximilien BOKO[1,2]., Kouété Hervé KOUDJEGA[1] ., Expédit Wilfrid VISSIN[1,2]

1 Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi (République du Bénin)

2 Enseignant Chercheur au Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT, FASHS, UAC, Rép. du Bénin) 01BP 2009 Cotonou BENIN

koudjegaherve@gmail.com, exlaure@gmail.com

satondjijosepha@gmail.com, boko2za@gmail.com, koudjegaherve@gmail.com, exlaure@gmail.com

Résumé : *Le changement climatique risque d'alourdir la charge de morbidité des maladies sensibles au climat, dont le paludisme, en raison de facteurs comme l'augmentation des températures et le changement des régimes pluviométriques et des taux d'humidité. La méthodologie de cette étude s'est appesantie sur les paramètres climatiques et des valeurs extrêmes de précipitations, de l'humidité relative et des températures sur la période de 1980-2023. Dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, en 2021, le paludisme est la première cause de consultation (41,7%) pour la population générale et 48,0% des motifs de consultation des enfants de moins de 5 ans et 26,8% des hospitalisations dans nos formations sanitaires.*

Mots clés : *Rythme pluviométrique, paludisme, zone sanitaire Dassa-Glazoué*

Abstract: *Climate change is likely to increase the burden of climate-sensitive diseases, including malaria, due to factors such as rising temperatures and changing rainfall patterns and humidity levels. The methodology of this study focused on climatic parameters and extreme values of precipitation, relative humidity, and temperature over the period 1980–2023. In the Dassa-Glazoué health zone, in 2021, malaria was the leading cause of consultation (41.7%) for the general population and 48.0% of consultations for children under 5 years of age and 26.8% of hospitalizations in our health facilities.*

Keywords: *Rainfall pattern, malaria, Dassa-Glazoué health zone*

Introduction

Au Bénin, le paludisme constitue la première cause de consultation (40,6%) pour la population générale et 45,1% des motifs de consultation des enfants de moins de 5 ans et 29,2% des hospitalisations dans les formations sanitaires en 2013. La complexité spécifique du paludisme serait liée à la forte interaction du Plasmodium et son vecteur avec l'environnement. La capacité vectorielle de l'anophèle est fortement associée au climat (Craig *et al.,* 1999; Saugeron *et al*., 2011). Les grandes sécheresses des années 70 à 80 avaient fortement réduit l'abondance, le taux d'infection et l'extension géographique des vecteurs du paludisme dans les zones sub-sahariennes (CIRDES, 2008). Sous l'effet de ce changement climatique, le paludisme s'était retiré du centre Bénin, au profil des zones les plus humides des régions Sud-Bénin. La fréquence accrue des phénomènes extrêmes associés au changement climatique en cours, devraient faciliter la propagation de la maladie, et par conséquent, la reconquête des territoires des communes de Dassa et de Glazoué. Ce travail permettra de déterminer le poids des facteurs climatiques sur le recul ou la recrudescence du paludisme qui sévissent dans les communes de Dassa et de Glazoué.

Les communes de Dassa et de Glazoué sont situées entre 7°35' et 8°32 de latitude Nord et entre 1°38' et 2°22 de longitude Est dans le département des Collines. Elles partagent ses frontières avec les communes de Savalou à l'Est ; Djidja au Sud, Bantè au Nord et la république du Togo à l'Ouest sur environ 65 km.

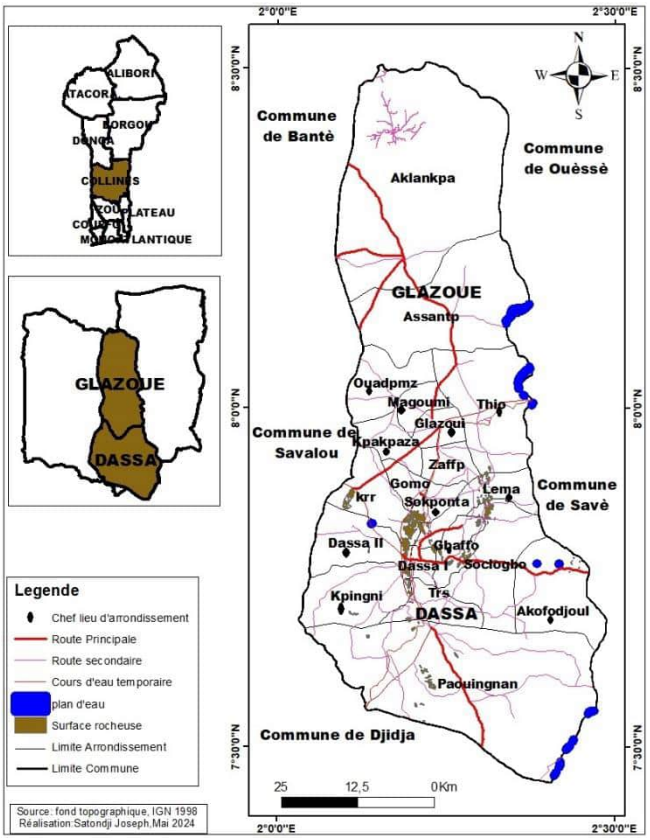


Figure 2 : Situation géographique des Communes de Dassa et de Glazoué

2. Donnée et Méthode

2.1. Matériels et Données

Les données climatiques utilisées sont la pluviométrie, la température et l'humidité relative dans les Communes de Dassa et de Glazoué. Elles sont fournies par la station de Cotonou et celle des deux communes sur la période 1990-2023. Les données sanitaires utilisées concernent les cas de maladies enregistrés dans les formations sanitaires au cours de la période 1990-2023, à partir de la fiche de relevés épidémiologiques (B5a) établies par le Ministère de la Santé.

2.2. *Traitement et analyse des données*

Les données climatiques (pluviométrie, température, humidité relative) collectées ont servi à étudier la répartition temporelle des facteurs climatiques corrélés avec les affections du paludisme. Elles ont permis d'établir des graphiques pour être interprétés.

2.2.1 Etude de la variation des paramètres climatiques

Il s'agit de la réalisation des différents graphiques par des courbes ombro-thermiques mettant en évidence l'évolution inter mensuelle et interannuelle des paramètres climatiques.

- ***Etat moyen des paramètres climatiques considérés***

L'état moyen des paramètres climatiques a été apprécié à partir de la moyenne arithmétique qui a permis de déterminer les moyennes mensuelles et annuelles des séries de chacun des paramètres climatiques utilisés (pluviométrie, température, humidité relative). Il s'exprime par la formule suivante :

$$X = \frac{1}{n} \sum_{xi=1_i}^{n} x_i$$

Avec : X : la moyenne arithmétique,

n : effectif total des variables xi (hauteur de pluie, température, humidité).

2.2.2 Données sanitaires

- ***Regroupement des maladies***

Les données statistiques épidémiologiques collectées à partir de la fiche B5a de chaque centre de santé, sur la période 1990-2023, ont été traitées par le Système National d'information Gestion Sanitaire (SINGS) du Ministère de la Santé.

- ***Prévalence des principales pathologies***

La prévalence de ces quatre (4) premiers principaux groupes de pathologies a été représentée par des graphiques illustrant leur évolution de 1990 à 2023.

- ***Répartition spatiale des principales affections***

La répartition spatiale des principales affections est présentée en fonction de la morpho-pédologie et de la typologie de la zone humide dans chaque arrondissement. Cette affection du paludisme a été réalisée à partir des paramètres climatiques corrélés.

Les coefficients de corrélation sont des données qui ont été calculées pour apprécier et établir les relations entre les paramètres climatiques et des principales affections pathologiques, à partir des données climatiques relatives de l'ASCNA et épidémiologiques du SNIGS. Elles contribuent à expliquer la prévalence des principales affections en fonction des paramètres climatiques.

Ce coefficient est un réel « **r** » défini par :

$r_{xy} = COV_{(x,y)} / G_x.G_y$

$$Correl(X,Y) = \frac{\sum (x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum (x-\bar{x})^2 \sum (y-\bar{y})^2}}$$

3. Résultat et Discussion

3.1. Déterminants climatiques de la prévalence du paludisme

Le paludisme demeure le premier motif de consultation, surtout chez les enfants de moins de cinq ans. Maladie parasitaire endémique, il est dû au moustique, plus précisément l'anophèle femelle, dont l'agent pathogène est le plasmodium falciparum. Cet agent pathogène s'attaque aux globules rouges pour les détruire, d'où l'appellation de l'appartenance à la famille des hématozoaires pour classifier les moustiques (Boko, 1988 cité par Adissoda, 2009).

Trois facteurs favorisent la reproduction de l'anophèle : le milieu aquatique, la chaleur et le sang humain. Le développement et la survie de l'anophèle interagissent avec la variation climatique du milieu (Gentilini, 1993).

3.2 Facteurs climatiques et paludisme

Les Figures 8 et 9 montrent que l'évolution des courbes des deux facteurs climatiques (Température et Humidité) et des cas de l'affection, explique le coefficient de corrélation (-0,27) entre le Paludisme et la température traduisant l'existence d'une relation négative significative et celui de (0,54) entre la même affection et l'humidité relative traduisant l'existence d'une relation positive significative

Le développement du germe et la survie de l'anophèle, vecteur du paludisme, sont quasi influencés par les conditions climatiques du milieu. Le taux d'humidité relative requis pour le confort de l'anophèle est de 80 % (Boko, 1988).

Ainsi, l'humidité relative exerce une influence certaine sur le développement du germe dans les communes de Dassa et de Glazoué, car elle varie entre 59 % et 94 %. Le développement parasitaire n'est possible que si la température est comprise entre 20°C et 37°C. Or dans les communes de Dassa et de Glazoué la température varie entre 26°C et 29°C et, est favorable à la maturation du germe du plasmodium.

Par ailleurs, la pluviométrie est corrélée positivement avec le paludisme avec un coefficient de 0,86. Ce coefficient est fort. Il existe une liaison entre la pluviométrie et le paludisme. On observe une croissance du nombre de cas de paludisme de février à juin, période de la grande saison pluvieuse à laquelle correspond une augmentation de la pluviométrie et de l'humidité et une baisse de la température. Néanmoins, il faut noter qu'une légère croissance du nombre de cas de paludisme a été observée entre septembre et décembre (période entre la fin de la petite saison des pluies et le début de la grande saison sèche) à la suite d'une chute de juillet à août, accompagnée d'une diminution de la pluviométrie et une légère baisse de l'humidité au moment où il est observé une hausse de la température (Figures 8, 9 et 10).

La progression des cas de paludisme et celle des températures sont divergentes dès mi-octobre à décembre (Figure 10).

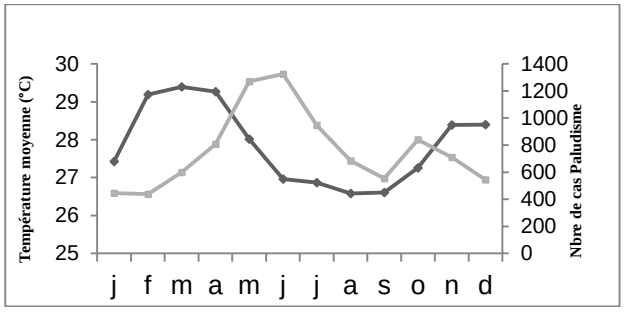


Figure 8 : Variation inter mensuelle du paludisme et de la température (1990-2023)

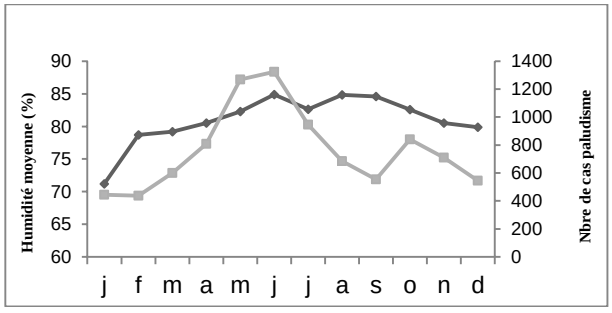


Figure 9 : Variation inter mensuelle des cas du paludisme et de l'humidité (1990-2023)

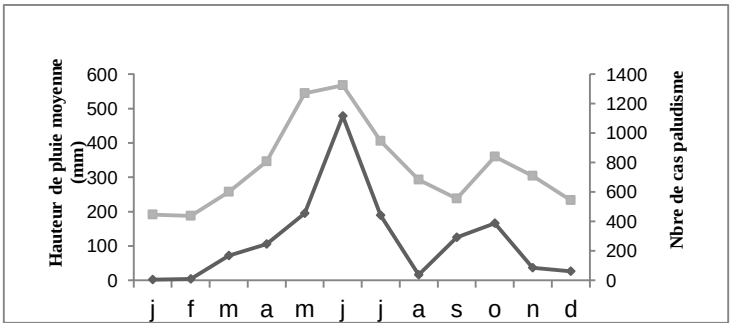


Figure 10 : Variation inter mensuelle des cas de paludisme e**t** de la pluviométrie (1990-2023)

A partir de l'analyse de ces observations, le paludisme prévaut aussi bien en saison sèche qu'en période consécutive à la saison pluvieuse. Durant la saison des pluies, les gîtes larvaires d'anophèles gambiae sont largement distribués par la formation de nombreuses petites collections d'eau. Dans la zone sanitaire Dassa-Glazoué, en 2021, le paludisme est la première cause de consultation (41,7%) pour la population générale et 48,0% des motifs de consultation des enfants de moins de 5 ans et 26,8% des hospitalisations dans nos formations sanitaires. De plus, Dassa et Glazoué sont des communes où la prévalence parasitologique (confirmée) du paludisme s'élève à 63% chez les enfants de moins de 5 ans contre 41% au niveau national et à 57% chez les femmes enceintes contre 33% au niveau national.

Le pic de production associé à l'extension maximale des gîtes d'hivernage correspond au pic de précipitations. En semaines 3 et 4, les faibles densités d'anophèles gambiae correspondent à une pluviométrie accrue. Ces résultats sont conformes aux résultats de Hounsou (2003) qui ont montré l'implication du climat dans l'apparition des affections dans le département des Collines.

Conclusion

La présente étude montre qu'il est avéré que beaucoup de maladies contagieuses à transmission vectorielle ou d'origine hydrique sont sensibles au changement climatique. Dans les limites de leurs aires d'extension actuelles, le paludisme et nombre d'autres maladies infectieuses présentent une fréquence et un caractère saisonnier. L'index de végétation peut être un bon indicateur écologique de la saisonnalité du paludisme mais, ne peut pas être utilisé pour cibler les principaux gîtes d'anophèles pour des interventions efficientes. La pluie est le facteur primordial de limitation écologique des aires de paludisme.

Bibliographie

Adissoda, O., 2009. Vulnérabilité de la santé aux changements climatiques de la Commune de Parakou : Cas du paludisme et des infections respiratoires Aiguës (IRA). Mémoire de maîtrise de géographie UNB, Abomey- Calavi 88p

Akogbéto, M., 2011. Entomological database in preparation for the implementation of Indoor Residual Spraying (IRS) in the department of Atacora. Final Report. Cotonou, 203 p

Boko, M., 1989. Pluies et parasitoses intestinales dans la plaine côtière du Bénin, régime pluviométrique et rythme d'infection In Géo-Eco-trop, vol 13, pp.55-63.

Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zones Sub-humides (CIRDES), 2008. Évolutions démographiques et changements climatiques : Impacts sur les maladies à transmission vectorielle en Afrique de l'ouest. Conférence internationale à Ouidah (Bénin) Rapport 90p.

Craig, M.H., Snow, R.W., 1999. Climate-based distribution model of malaria transmission in Sub-Saharan Africa. Reviews Parasitology Today; vol. 15: no. 3.

Gentilini, M., 1993. Médecine Tropicale. Flammarion, 5ème édition, Paris, 929p.

GIEC, 2007. Changements climatiques, 2007 (Rapport de synthèse), 103 p.

Hounsou, M., 2003. Evaluation des aspects morpho-pédologiques et hydriques dans la caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de Tèwi : cas du bas-fond d'Adjanoudoho (Commune de Dassa-Zoumé). DESS, FSA/UAC.

Orékan, V., 2000. Impacts de l'exploitation des bas-fonds sur la santé des populations : Cas des sous-préfectures de Dassa-Zoumé et de Glazoué dans le département des Collines au Bénin. Mémoire de DEA/EDP/FLASH/UNB, 82p.

Saugeon, C., Baldet, T., Akogbeto, M., 2009. Le climat et la démographie peuvent-ils avoir un impact important sur le paludisme en Afrique subsaharienne dans les 20 prochaines années ? Médecine tropicale A. 69 : n° 2, 203-207

FACTEURS HYDRO-CLIMATIQUES ET PROBLEMES SANITAIRES DANS LA VILLE DE OUELLE (CENTRE-EST DE LA COTE D'IVOIRE)

Sophie Pulchérie TAPE[1]

[1]*Université Peleforo GON COULIBALY (Korhogo - Côte d'Ivoire), BP 1328 Korhogo, Mail : pultap78@yahoo.fr*

Résumé *: Située au Centre-est de la Côte d'Ivoire, la ville de Ouéllé est victime d'un environnement urbain insalubre qui a pour conséquence la prolifération des vecteurs de maladies dans un contexte de changement climatique. L'objet de cette étude est de montrer l'impact des déterminants hydro climatiques dans la distribution spatiale des pathologies urbaines de Ouéllé. La démarche méthodologique utilisée s'est appuyée sur les techniques de collectes de données allant de la recherche documentaire aux enquêtes de terrain. Les résultats ont montré que les facteurs hydro climatiques primordiaux dans la ville de Ouéllé sont les précipitations, la température et le vent. Par ailleurs, les pathologies inhérentes à ces déterminants sont le paludisme avec 63% des consultations en 2023, suivi de la fièvre typhoïde (8%) et des Infections Respiratoires Aigües (IRA) (3%).*

Mots-Clés *: Côte d'Ivoire, Ouéllé, Facteurs hydro-climatiques, problèmes sanitaires.*

Abstract: Hydro-climatic factors and health problems in the city of Ouelle (Central-East Of Ivory Coast). *Located in the center-east of Ivory Coast, the city of Ouéllé is a victim of an unsanitary urban environment which results in the proliferation of disease vectors in a context of climate change. The purpose of this study is to show the impact of hydro-climatic determinants on the spatial distribution of urban pathologies in Ouéllé. The methodological approach used was based on data collection techniques ranging from documentary research to field surveys. The results showed that the primary hydro-climatic factors in the city of Ouéllé are precipitation, temperature and wind. Furthermore, the pathologies inherent to these determinants are malaria with 63% of consultations in 2023, followed by typhoid fever (8%) and Acute Respiratory Infections (ARI) (3%).*

Keywords: *Côte d'Ivoire, Ouéllé, Hydro-climatic factors, health problems*.

Introduction

Le phénomène d'urbanisation est en forte croissance dans le monde particulièrement dans les pays les moins avancés. Les villes ne cessent de s'étendre de façon exponentielle des centres-villes vers les espaces périphériques avec une population de plus en plus nombreuse. Malheureusement, dans la majeure partie des cas, dans les pays les moins avancés, cette croissance ne va pas de pair avec les normes d'urbanisme. « C*ette croissance mal maîtrisée génère de manière croissante des besoins en matière de logement décent, d'accès à l'eau potable, à l'assainissement, et aux soins de santé* » (Tapé, 2023, p 250). Aujourd'hui, la qualité de l'environnement urbain laisse à désirer à travers l'existence des déchets liquides, des ordures ménagères et de la pollution des eaux et de l'air. Ces problèmes urbains ont tendance à prendre de l'ampleur avec les effets de la variabilité climatique dont les conséquences actuelles et futures inquiètent un grand nombre d'acteurs politiques et institutionnels. L'Afrique de l'Ouest est l'une des régions les plus vulnérables aux changements climatiques en raison de leurs structures économiques, sociales et démographiques (Ardoin-Bardoin, 2004, p11). Les conséquences s'apprécient sur les cycles de l'eau à travers les longues périodes de sécheresse ou d'excès d'eau (Afouda *et al.*, 2007 ; Goula *et al.*, 2006, cité par Koumassi H., 2014, p11). La variabilité périodique et spatiale de ces deux (02) facteurs, notamment la sécheresse et la longue saison pluvieuse, a une incidence sur le milieu physique, les populations, les activités économiques et particulièrement sur la santé humaine. Les villes ivoiriennes et spécifiquement celle de Ouéllé ne restent pas en marge de cette réalité. Ladite localité (Figure 1), située au Centre-est de la Côte d'Ivoire et s'étendant sur une superficie de 1558 m² avec une population estimée à 37641 habitants (INS, RGPH 2021), est sujette aux effets du changement climatique, alors qu'elle fait déjà face à un accroissement démographique exceptionnel.

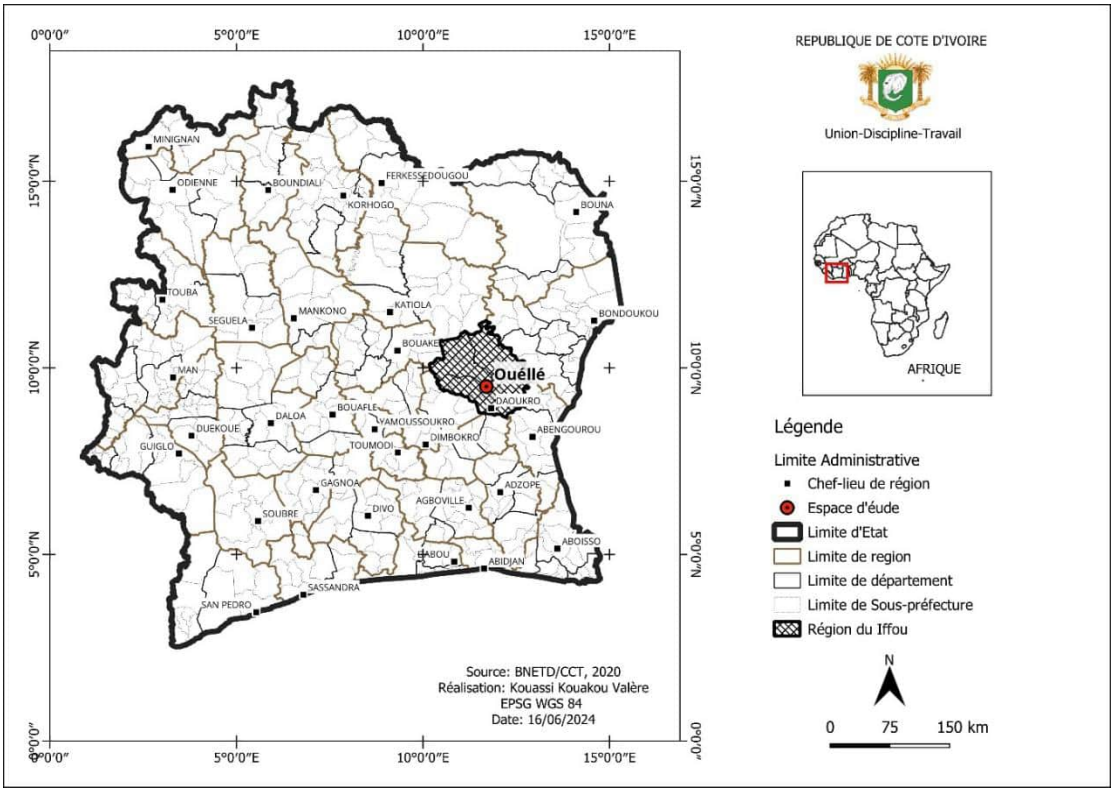


Figure 1. Localisation de la ville de Ouéllé

La croissance incontrôlée de cette ville est due aux intenses activités d'orpaillage ces cinq (05) dernières années ; engendrant ainsi une population nombreuse et une pénurie d'eau. Ces problèmes sont vécus au quotidien par les habitants de la ville ; portant ainsi de graves préjudices sur la santé des populations notamment les plus défavorisées. L'objectif de la présente étude vise à analyser spatialement des facteurs hydro climatiques et leur impact sanitaire à Ouéllé. La ville est construite sur un site peu accidenté caractérisé de colline et de bas-fonds. Le réseau hydrographique est constitué de petits cours d'eau saisonniers. Le climat de type Baouléen est composé de 04 saisons dont 02 saisons pluvieuses et 02 saisons sèches.

Méthodologie

Elle est basée sur la recherche documentaire et la collecte de données sur le terrain. La recherche documentaire s'est articulée autour des thèses, des articles scientifiques et des mémoires obtenus en ligne. Les documents consultés sont relatifs aux différents facteurs hydro climatiques en général et de la région, aux affections liées au climat, aux stratégies mises en place pour la lutte contre les pathologies, aux zones endémiques et aux facteurs de répartitions des pathologies en lien avec le climat dans les villes.

Relativement aux enquêtes de terrain, des entretiens ont été réalisés avec les experts dans l'offre de soin de santé public et privé de la ville d'étude. Il s'agit de 03 infirmiers, 02 médecins et du médecin-chef de l'Hôpital général de la ville. Des interviews ont été réalisées avec les responsables d'administration, les experts de la gestion urbaine, notamment les responsables du service technique de la municipalité, de l'environnement et la distribution d'eau potable (SODECI). Par ailleurs, des questionnaires ont été administrés à 100 individus sélectionnés à partir des critères Age (plus de 18 ans), Ancienneté dans la ville (avoir passé au moins 5ans à Ouéllé) et Statut professionnel. Les données ont été collectées grâce à la méthode de boule de neige qui a consisté à partager notre questionnaire à des personnes de mêmes caractéristiques qui, elles à leur tour, nous ont conseillé d'autres personnes ressources de profil similaire pour

répondre à notre document et le diffuser à d'autres, ainsi de suite. L'objet de ces échanges était l'obtention des informations sur les pathologies, leur répartition dans la ville, les modes de collecte et de traitement des déchets, les quartiers insalubres, les entités spatiales ayant difficilement accès à l'eau.

L'observation sur le terrain a consisté à la visite des établissements sanitaires des différents quartiers de la ville, des zones endémiques, du niveau de végétation urbain et des zones insalubres. Les prises de vue photographiques des unités spatiales ont été réalisées à l'aide d'un Smartphone Redmi 9A, suivi du recueil des données géospatiales à l'aide de l'application mobile UTM Geo map pour des données collectées au format KML (**Keyhole Markup Language)** du système d'exploitation Android. Les coordonnées collectées ont concerné : les puits, les forages, les centres de santés et cliniques, les pharmacies, les dépotoirs sauvages et les établissements scolaires.

Les données collectées ont été traitées, puis analysées suivant des méthodes statistiques d'analyse de données dans l'interface de différents logiciels : le Microsoft Excel (Microsoft Office 365) pour l'organisation, le traitement et la réalisation des diagrammes et des tableaux, l'intégration des données géospatiales traitées dans le logiciel SIG (Système d'Information Géographique), ArcGis version 10.8 pour les réalisations cartographiques et le logiciel Microsoft Word (Microsoft Office 365) pour la saisie du texte.

Identification des facteurs hydro climatiques

1.1. Orientation et vitesse du vent

La figure présente la vitesse moyenne mensuelle du vent, la fréquence des vitesses du vent dans différentes gammes de 0-1,5 m/s à 3,0-4,4+ m/s, et le pourcentage de contribution de chaque direction à la vitesse totale observée du vent. La direction de la vitesse moyenne du vent la plus élevée qui est de 1,73 m/s est Sud-Sud-Ouest (SSO) (Figure 2). Les saisons les plus ventées sont la période d'harmattan (Décembre à Mars) et la saison des pluies (Juin à Septembre). Les vents sont plus fort et favorisent les précipitations.

Dans l'ensemble, l'ensoleillement est fort en début d'année avec 3,94 kW-hr/m² par jour et diminue progressivement, atteignant son point le plus bas en juillet avec 1,85 kW-hr/m² (Figure 2). Cela pourrait indiquer la nature saisonnière relativement au nombre d'heures d'ensoleillement. Ainsi, les mois de juin, juillet, août correspondant à la saison pluvieuse montrent généralement les valeurs les plus basses suivies d'une augmentation en fin d'année, notamment en novembre et décembre avec en moyenne 4,34 kW-hr/m² par jour.

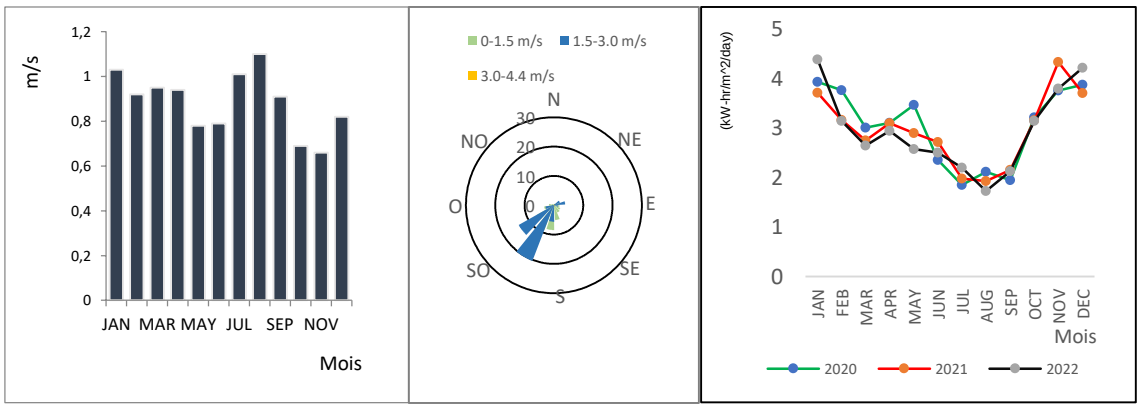


Figure 2 : Irradiation solaire de la ville de Ouéllé de 2020 à 2022

***Source** : NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Mont hly and Annual Dates (month/day/year): 01/01/2020 through 12/31/2022]*

1.2. Précipitations et températures

La ville est soumise à une variation pluviométrique saisonnière avec des précipitations moyennes mensuelles pouvant atteindre plus de 300 millimètres de pluie en saison pluvieuse (Mars à Août). Les températures varient en fonction des paramètres pluviométriques. Les mois de fortes chaleurs correspondent à la période de saison sèche (Décembre à Mars) pour des températures atteignant les 30 °C. On peut observer une corrélation entre les précipitations et les températures. Les mois les plus chauds ont tendance à avoir moins de précipitations, tandis que les mois les plus froids ont des précipitations plus élevées (Figure 3).

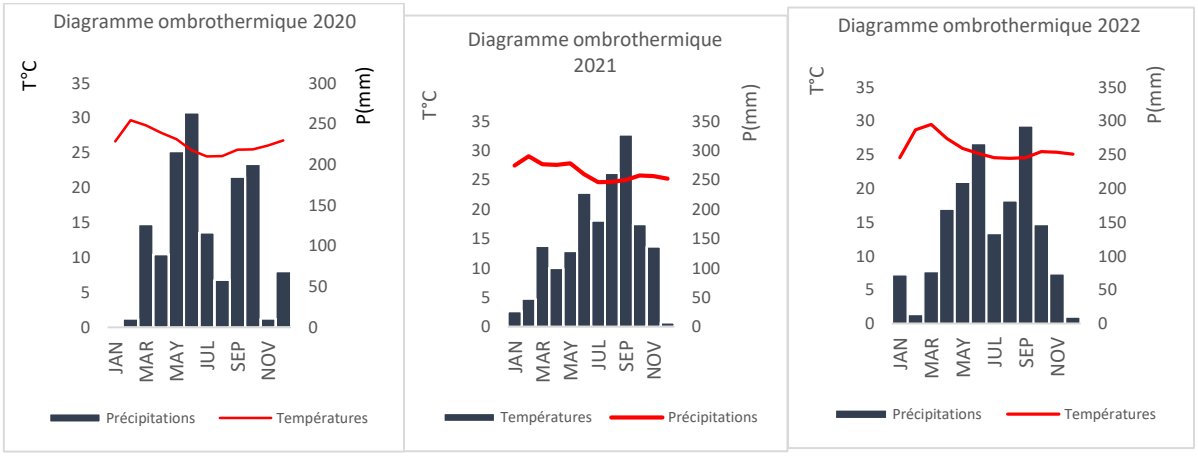


Figure 3. Diagrammes ombrothermiques des précipitations moyennes mensuelles et des températures dans la ville de Ouéllé de 2020 à 2022

Impact des facteurs hydro climatiques sur l'environnement urbain et la santé des populations

2.1. Un environnement urbain insalubre et humide

La ville est exposée aux ordures ménagères de toutes sortes. En période d'harmattan (Décembre à Février) et en début de saison des pluies, le vent soufflant du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Ouest à une vitesse moyenne de 1 mètre par seconde, transporte les ordures des dépotoirs sauvages des quartiers Nord vers les unités spatiales au Sud-Sud-Ouest ; augmentant ainsi le volume d'ordures dans ces quartiers. Pendant les saisons pluvieuses, ces déchets associés à l'humidité garantissent un environnement urbain insalubre qui a pour conséquence la prolifération des gîtes de moustiques.

2.2. Ouéllé, à proximité d'un aménagement hydroagricole et d'une couverture forestière

L'aménagement hydroagricole réalisé par les collectivités locales ayant pour objectif premier le développement de l'agriculture vivrière, singulièrement le maraichage, connait une dégradation de son site en raison des longues périodes de sécheresse des années 2016 et 2018. Abandonné par les populations, il constitue le principal lieu de reproduction des anophèles, vectrices du paludisme dans la ville. Les conditions naturelles comme le vent mais aussi les mouvements de populations par divers moyens de transport orientent leurs déplacements. Les quartiers impactés par ces moustiques sont Plateau et Hôpital extension Sud en raison de leur proximité au barrage (350 mètres) et à leur insalubrité. Lors des saisons pluvieuses, les eaux augmentent de volume, débordent même par endroit ; étendant ainsi la zone du risque sanitaire à toute la ville.

Répartition des affections dans la ville de Ouéllé

3.1. La prédominance du paludisme dans la ville

La ville de Ouéllé est soumise à trois (03) pathologies principales : le paludisme, la fièvre typhoïde et les Infections Respiratoires Aigües (IRA). Le paludisme et la fièvre typhoïde sont plus présents en période de pluies, notamment de Mars à Août, tandis que les IRA sont plus accentuées en période d'harmattan (Décembre à Mars).

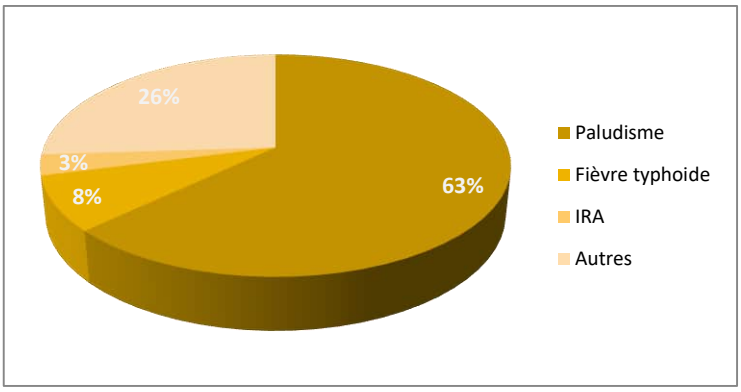


Figure 4 : Pathologies les plus fréquentes chez les patients

Source *: Hôpital général de la ville de Ouéllé, 2023*

A l'analyse de ce graphique, le paludisme demeure la première cause de consultation dans la ville avec 63% des visites médicales. Même s'il semble être médicalement maîtrisé, il n'en demeure pas moins un problème de santé publique. Les zones endémiques de la ville suivant ces variables sont les quartiers Bayassou Dioula et Bayassou Kôkô, les quartiers plateau, Kodi Bayassou Baoulé et Bayassou Baoulé extension (Figure 6).

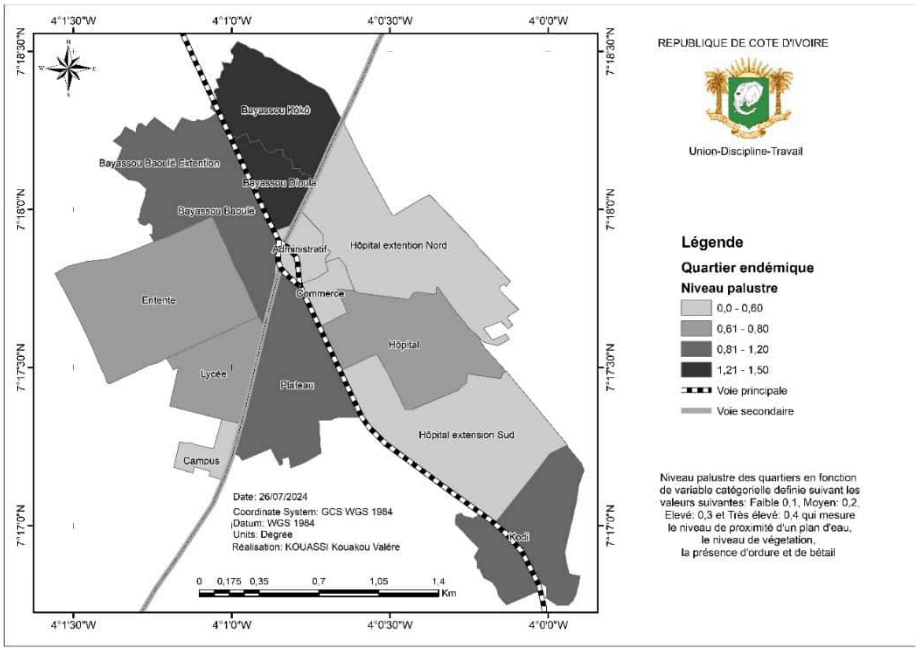


Figure 5 : Distribution des pathologies dominantes par quartier en 2023

Source : Nos investigations de terrains, mai 2024

Discussion

Le paludisme demeure la pathologie dominante dans les villes ivoiriennes. Il est la cause la plus fréquente des consultations médicales et d'hospitalisation dans le pays. Il est aussi responsable de 33 % des décès en milieu hospitalier selon l'OMS (2010). Les saisons pluvieuses

sont favorables au paludisme pendant que celles dites sèches sont propices aux IRA ((Tapé S. P., 2023, p 261) et à l'insalubrité imputable à la fièvre typhoïde, d'où son appellation de « la maladie des mains sales ». Ces résultats ont été confirmés par nos travaux de recherche.

Conclusion

Les maladies telles que le paludisme, la fièvre typhoïde et les IRA sont liées aux facteurs hydro climatiques. Le paludisme est la première cause de consultation dans les différents centres de santé de la ville. Ces pathologies présentent tout le long de l'année des pics pendant les saisons pluvieuses (Avril, Juin, et Juillet). Comme recommandations faites aux patients, la distribution des moustiquaires imprégnées, le ramassage des ordures et l'entretien du cadre de vie sont des actions à mener dans la lutte contre ces pathologies.

Bibliographie

Ardoin-Badoin S., 2004, Variabilité hydro climatique et impact sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone Soudano-Sahélienne, Université de Montpelier II, Sciences et techniques du Languedoc, 441p.

Koumassi H., 2014, facteurs hydro climatiques et vulnérabilité des écosystèmes dans le bassin versant de la sota à l'exutoire de couberi, Environnement et société, Université d'Abomey Calavi, in HAL Open Science, 246p.

Tape S. P., 2023, Facteurs environnementaux et problèmes sanitaires à Ayamé, In African review of migration and environnement **7**-1, pp250-266.

INFLUENCE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ DES ENFANTS DE 0 À 5 ANS EN MILIEU LACUSTRE AU SUD DU BÉNIN

Fanès AZALOU TINGBE

LACEEDE, DGAT, FASHS, Université d'Abomey-Calavi (Bénin), tfanesfano@gmail.com, (229) 0195420954

Résumé : *L'objectif de cette recherche est d'analyser le lien entre les variations climatiques et la santé des enfants de 0 à 5 ans dans la commune de Sô-ava, située sur les rives du lac Nokoué. Pour y parvenir, les données climatiques (1981 à 2020) et épidémiologiques (2011 à 2020) ont été recueillies, et les données socio-anthropologiques collectées auprès de 255 personnes pour analyser la perception des populations des liens entre climat et santé des enfants de 0 à 5 ans. Il ressort des résultats que la commune présente un cadre climatique et environnemental inconfortable pour les enfants. Elle est marquée par une variation des paramètres climatiques qui sont associés aux affections que sont le paludisme (pendant la saison pluvieuse), les infections respiratoires aigües (fréquents pendant l'harmattan) et les maladies diarrhéiques (début de saison pluvieuse et pendant la saison sèche).*

Mots-clés : Commune de Sô-ava, variabilité climatique, santé, enfants de 0 à 5 ans.

Abstract : *The objective of this research is to analyze the link between climate variations and the health of children aged 0 to 5 years in the municipality of Sô-ava, located on the shores of Lake Nokoué. To achieve this, climate data (1981 to 2020) and epidemiological data (2011 to 2020) were collected, along with socio-anthropological data gathered from 255 individuals to analyze the communities' perception of the connections between climate and the health of children aged 0 to 5 years. The results indicate that the municipality presents an uncomfortable climatic and environmental setting for children. It is characterized by variations in climatic parameters that are associated with afflictions such as malaria (during the rainy season), acute respiratory infections (common during harmattan), and diarrheal diseases (at the beginning of the rainy season and during the dry season).*

Keywords: Commune of Sô-ava, climate variability, health, children aged 0 to 5 years.

Introduction

Les modifications climatiques enregistrées depuis plusieurs décennies dans le monde ont des répercussions considérables sur la vie humaine. La hausse thermométrique et les tendances à la baisse des précipitations, seront favorables à la prolifération des germes et agents pathogènes du paludisme, des infections respiratoires aigües (IRA), des maladies diarrhéiques et autres pathologies sensibles au climat (Boko, 1992). Les catastrophes résultant du dérèglement climatique vont augmenter la prévalence de ces maladies à transmission vectorielle et menacer les ressources biologiques utilisées dans les traitements thérapeutiques. L'Organisation Mondiale de la Santé estime que le changement climatique est responsable à 88% des maladies qui affectent les enfants de moins de cinq ans. Selon cette organisation, approximativement un enfant sur cinq meurt dans le monde chaque année de l'influence du climat sur leur santé (OMS, 2009). En effet, le métabolisme des enfants s'adapte moins bien à la chaleur, ce qui les rend plus susceptibles de souffrir d'affections liés à la chaleur. Les enfants ont des taux de complication les plus élevés relativement aux infections (UNICEF, 2023). En outre, les populations les plus pauvres sont les plus vulnérables aux maladies climato sensibles. Il s'ensuit que les effets du climat menacent la santé humaine, surtout celle des enfants qui constituent la couche de la population la plus vulnérable, du fait de la fragilité de leur organisme (Vitouley, 2015). Les enfants de la commune lacustre de Sô-ava font face à cette même réalité. Tenant compte du type de climat subéquatorial de la commune de Sô-ava avec ses extrêmes thermiques qui varient entre un minimum de 22° C et un maximum de 35° C, la recherche se fixe comme objectif de caractériser les liens entre la variabilité climatique et la santé des enfants de 0 à 5 ans.

Située au Sud Bénin dans le département de l'Atlantique, la commune de Sô-ava est comprise entre 6°24' et 6°38' de latitude nord et entre 2°27' et 2°30' de longitude est. Elle s'étend sur une

superficie de 218 km² et occupe une partie de la basse vallée du fleuve Ouémé et de la rivière So à qui elle doit son nom. La commune de Sô-ava est limitée au nord par les communes de Zè et d'Adjohoun au sud par la commune de Cotonou à l'Est par les communes lacustres des Aguégués et de Dangbo et à l'Ouest par la commune d'Abomey-Calavi. Elle est caractérisée par un climat subéquatorial alterné de deux saisons de pluie et de deux saisons sèches. La moyenne pluviométrique annuelle est de 1200 mm. L'humidité relative s'établit à 69 % en saison sèche (novembre à mars) et à 90 % en saison humide. Une légère influence de l'harmattan balaie la zone entre décembre et janvier (Dan, 2012). La commune de Sô-ava se retrouve entièrement dans le bassin versant de l'Ouémé et ses eaux sont drainées vers le lac Nokoué. Elle dispose d'un réseau hydrographique très important qui recouvre près de la moitié de son territoire, obligeant la population à vivre en permanence dans l'eau, ce qui menace la santé des enfants de moins de cinq ans qui sont encore très vulnérables. Sa population est estimée à 118 547 habitants dont 22 108 (18,7 %) ont moins de cinq ans.

1. Données et méthodes

Dans le cadre de cette recherche, plusieurs données ont été collectées et utilisées. Il s'agit des données épidémiologiques (2011 à 2020), des données météorologiques de 1981 à 2020 (Pluie, température, humidité relative et ETP), des données démographiques et des données socio-anthropologiques recueillies lors des enquêtes de terrain auprès des populations de la commune. La recherche s'est intéressée à quatre groupes cibles à savoir : les ménages d'enfants de moins de cinq ans, les agents de santé, les agents d'hygiène, les autorités politico-administratives de la commune. La taille de l'échantillon des ménages est déterminée par la formule de Schwartz (2002). le choix raisonné a guidé la sélection des individus à interroger. Au total, 255 personnes ont été interrogées dans quatre arrondissements sur les sept que compte la commune. Les techniques utilisées pour collecter les données concernent l'entretien libre avec les agents de santé sur la base d'un guide d'entretien, l'entretien dirigé à l'aide d'un questionnaire avec les chefs de ménages d'enfants de moins de cinq ans, le focus group et l'observation directe. Les données collectées ont été traitées et analysées. Pour les données climatologiques, il a été procédé au calcul des moyennes et des coefficients de variation des différentes séries (température, humidité relative et hauteur de pluie) et des données épidémiologiques. Pour l'étude de la relation entre les deux types de données, il a été calculé le coefficient de corrélation de Spearman (*p*), montrant l'intensité et le sens de la relation ; ce qui a permis de déterminer la significativité des coefficients obtenus (Rakotomalala, 2012). Pour les données socio-anthropologiques les fréquences de réponses ont été déterminées suivant la formule de Seastrom (2001).

2. Résultats

2.1. Régime pluviométrique et rythme pathologique

Le régime pluviométrique du secteur est de type bimodal et influence la distribution temporelle des maladies infantiles (Figure 1). Pour le paludisme, on remarque que les deux courbes ne se superposent pas systématiquement mais elles présentent presque la même allure de janvier à juillet. La valeur de r = 0,78 ($0,6 < |r| < 1$) signifiant que les deux caractères sont fortement corrélés. Le démarrage des pluies coïncide avec une augmentation progressive du nombre de cas de paludisme. Plus la pluie augmente plus le nombre de cas d'enfants atteints du paludisme augmente. La courbe des cas d'IRA évolue en fonction de celle de la hauteur de pluie et elles présentent presque la même allure en période de saison des pluies. Le coefficient de corrélation calculé pour les deux séries r = - 0,29 permet de noter une indépendance entre les précipitations et les IRA. Même si la saison des pluies est une période favorable pour la prolifération des germes vecteurs des IRA, on observe une croissance des cas avec le pic en novembre qui peut s'expliquer par l'humidité élevée et aussi par les effets du début d'harmattan.

Quant à la courbe des maladies diarrhéiques, elle suit une évolution inverse à celle de la pluviométrie. Avec une corrélation r = - 0,18, les maladies diarrhéiques enregistrées sont indépendantes des hauteurs de pluie.

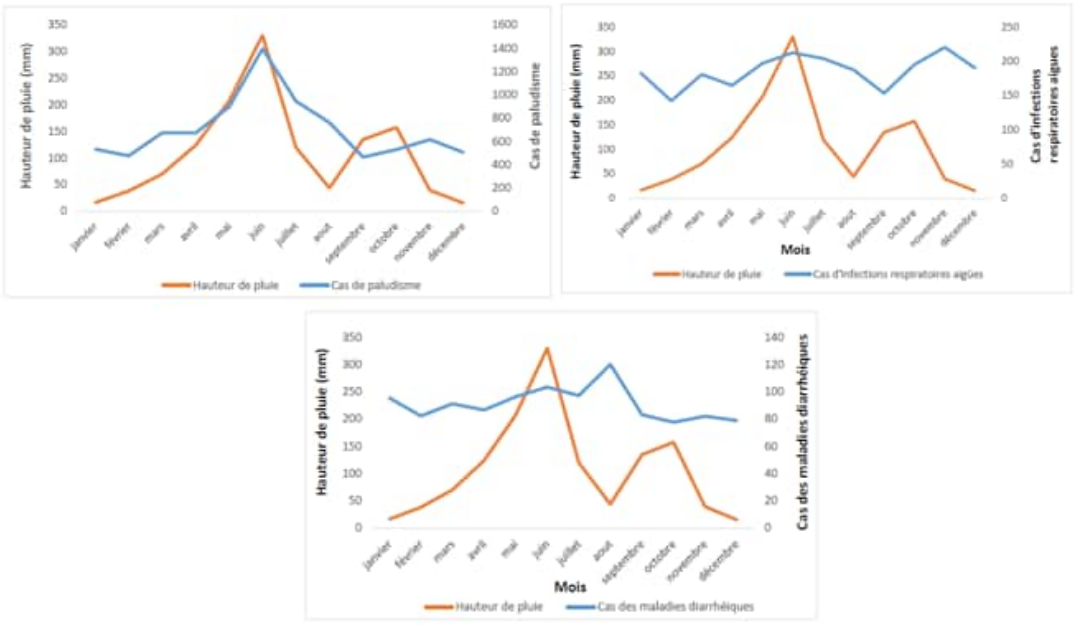


Figure 1. Variation intermensuelle des pathologies selon les hauteurs de pluies

Source : d'après les données de Météo-Bénin et ZS Calavi/ Sô-ava, 2021.

2.2. Régime thermométrique et rythme pathologique

La température constitue un déterminant de la santé humaine. Dans la commune de Sô-ava, elle influence les principales maladies notées chez les enfants de moins de cinq ans (Figure 2).

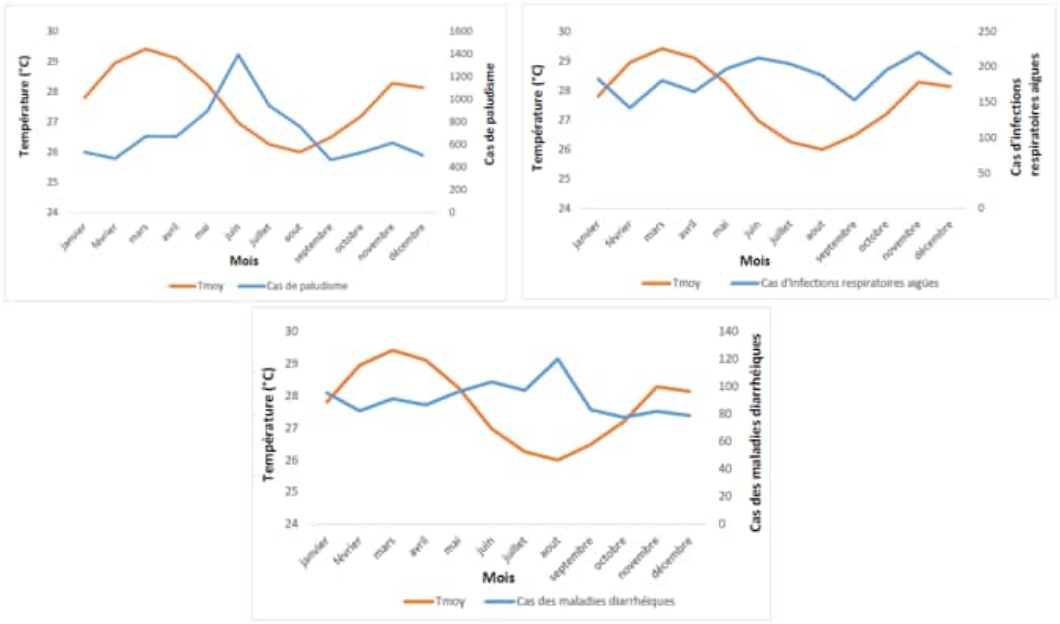


Figure 2. Variation intermensuelle des pathologies selon la température moyenne

Source : d'après les données de Météo-Bénin et ZS Calavi/ Sô-ava, 2021.

L'analyse de la figure 2 montre que les effectifs de cas de paludisme les plus élevés sont enregistrés dans la période de baisse sensible de la température (juin à aout). Le coefficient de

corrélation r = - 0,3 ($|r| < 0,6$) montre qu'il y a une liaison moyenne mais inverse entre les cas de paludisme et celle de la température. Pour les IRA, les deux courbes présentent presque une même allure de septembre à décembre. D'avril à juillet, une diminution des valeurs thermiques entraine une augmentation des cas d'IRA. La valeur de r = 0,30 atteste qu'il existe une dépendance partielle entre les IRA et la température. De plus r peut être placé dans l'intervalle $0,3 < |r| < 0,6$, ce qui confirme que la température et les IRA sont moyennement corrélées. De même, il existe une dépendance moyenne entre la température et les diarrhées (r = 0,44). Les deux courbes évoluent d'une part en sens inverse ; les périodes de baisse thermique correspondent aux périodes de recrudescence de la maladie et d'autre part elles évoluent de façon identique c'est-à-dire qu'une hausse thermique entraîne un nombre élevé de cas.

2.3. Humidité relative et rythme pathologique

L'humidité relative fait partie des paramètres qui déterminent le climat du milieu et qui influence la santé des enfants dans la commune de Sô-ava. Elle oscille entre 76 % (Janvier) et 84 % (Septembre). La figure 3 permet de remarquer que les forts cas d'enfants souffrants du paludisme sont enregistrés pendant une forte humidité relative. En effet, d'avril à août, lorsque l'humidité relative évolue et atteint environ 84 %, les cas de paludisme évoluent. Ce qui montre que le plasmodium a besoin aussi de l'humidité relative pour se développer. De septembre à novembre, malgré le fait que l'humidité soit à la baisse, les cas de paludisme augmentent. Ce qui signifie que les deux caractères sont moyennement corrélés (r = 0,50 ; $0,3 < |r| < 0,6$).

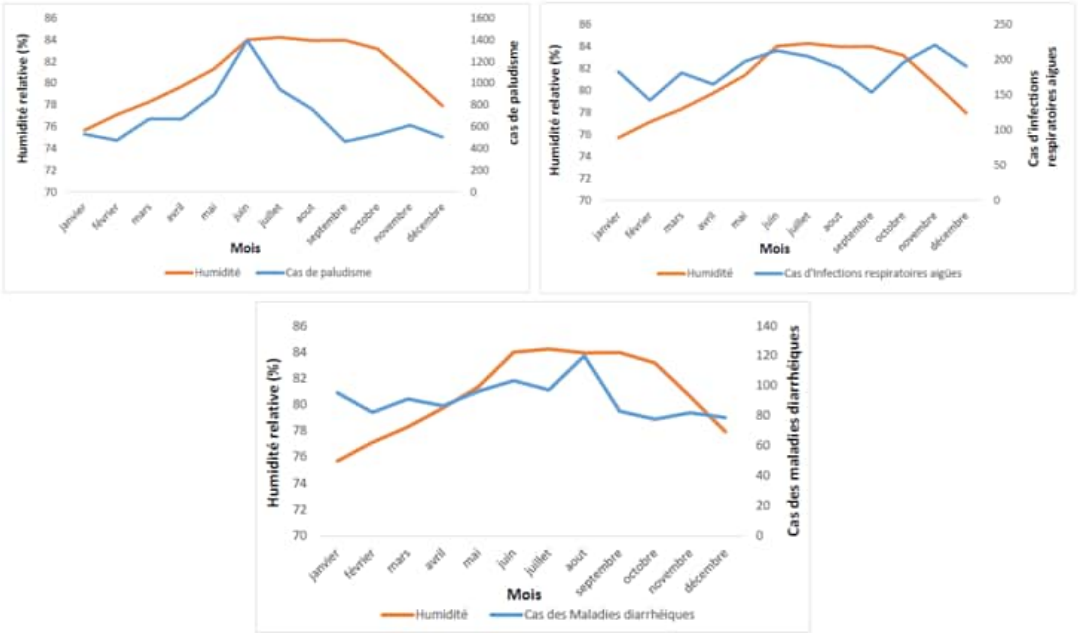


Figure 3. Variation intermensuelle des pathologies selon l'humidité relative

Source : d'après les données de Météo-Bénin et ZS Calavi/ Sô-ava, 2021.

On remarque que de novembre à janvier la baisse de l'humidité relative entraine une hausse des IRA caractérisée par le passage de la masse d'air continental (harmattan). De plus, dans la période de la saison des pluies, l'humidité relative et les IRA présentent la même allure. La valeur du coefficient de corrélation (r = - 0,35) prouve qu'il existe une influence partielle entre les deux caractères. Dans le cas des diarrhées, entre mai et juillet, on note une forte humidité qui entraine une légère baisse des cas de diarrhée alors que de novembre à janvier, la baisse de l'humidité engendre une hausse des maladies diarrhéiques d'une part et de janvier à février, l'augmentation de l'humidité engendre la baisse des cas de diarrhée d'autre part. On peut donc en déduire qu'il y a assez de cas de diarrhées enregistrées en période de forte humidité qu'en

période de faible humidité. Le coefficient de corrélation (r = - 0,33 < 0) montre l'évolution inverse de ces deux caractères qui sont moyennement corrélés.

En somme, on remarque que le paludisme est lié positivement aux hauteurs de pluie et humidité relative mais négativement liés à la température tandis que les IRA et les maladies diarrhéiques sont liées négativement aux hauteurs de pluies et humidité relative et positivement liées à la température. On note également que le paludisme reste la pathologie la plus sensible au climat. Parallèlement, la faiblesse de la part de la variance des autres pathologies montre que le climat n'est pas le seul déterminant déclencheur des pathologies. D'autres facteurs non climatiques sont également responsables.

3. Discussion

Dans la commune de Sô-ava, plusieurs maladies infantiles sont sensibles au climat. En effet, les variations des paramètres climatiques se combinent pour agir directement sur l'organisme des enfants de moins de cinq ans. Elles contribuent également à la dynamique saisonnière et favorisent la prolifération des pathogènes responsables des maladies. Ce constat confirme les résultats de Boko (1992), Koupkolou (2008) qui ont montré que les variations climatiques peuvent induire des rythmes pathologiques, qui sont caractérisées par des périodes de recul ou de recrudescence des affections. Les principales pathologies dominantes dans la commune de Sô-ava sont le paludisme, les infections respiratoires aigües et les maladies diarrhéiques. Ces résultats sont également en accord avec ceux de Odoulami *et al.* (2018) qui confirment que les changements de température et de précipitations peuvent également affecter la distribution des vecteurs de maladies, par exemple ceux du paludisme et des IRA, ainsi que l'incidence des maladies diarrhéiques. Le coefficient de corrélation a permis de mesurer l'intensité de la liaison entre ces pathologies et les paramètres climatiques étudiés. Ainsi, la recrudescence du paludisme s'enregistre en saison pluvieuse coïncidant souvent avec les inondations. Les infections respiratoires aigües sont liées à l'humidité de l'air mettant en exergue la période d'harmattan et les maladies diarrhéiques connaissent une occurrence dès le début de la saison pluvieuse et pendant la saison sèche. Ces résultats corroborent ceux de Lokossou (2017) qui a montré que pendant la période pluvieuse à Sô-ava, la majorité de la population se plaint des maladies diarrhéiques.

Conclusion

La présente étude a essayé de montrer dans quelles mesures les variations du climat sont impliquées dans l'apparition des affections chez les enfants de 0 à 5 ans dans la commune de Sô-ava. Au terme de cette étude, il faut retenir que le paludisme est lié positivement aux hauteurs de pluie et humidité relative mais négativement liés à la température tandis que les IRA et les maladies diarrhéiques sont quant à eux liés négativement aux hauteurs de pluies et humidité relative et positivement liés à la température. On note également que le paludisme reste la pathologie la plus sensible au climat. Parallèlement, la faiblesse de la part de la variance des autres pathologies montre que le climat n'est pas le seul déterminant déclencheur des pathologies. D'autres facteurs non climatiques sont également responsables.

Références bibliographiques

Dan O. F., 2012 : *Évaluation des impacts environnementaux et socio-économiques liés à la prolifération de la jacinthe d'eau Eichhornia crassipes (Mart) Solms-Laubach dans la Commune de Sô-Ava au Bénin*, Mémoire de Master, CIFRED, UAC, 60 p.

Koupkolou F. A., 2008 : *Climat et Santé dans la commune de Kétou*, Mémoire de maîtrise, UAC, 86 p.

Boko M. 1992 : Types de temps et affections des voies respiratoires chez les enfants quartiers périphériques de Cotonou (Bénin). in *Risques pathologiques, rythmes et paroxysmes climatiques*, Coord, J-P. Besancenot, John Libbey Eurotext, Paris, 279-286.

Lokossou M., 2017 : *Vulnérabilité et adaptation des communautés lacustres aux inondations à Sô-Ava dans la basse vallée de l'Ouémé au Bénin*. Mémoire de Master de spécialisation en Gestion des Risques et Catastrophes, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique, 56 p.

Odoulami L., Azalou Tingbé F., Dansou B. et Sambieni A., 2018 : Influence des types de temps sur la santé humaine dans la commune de Tanguiéta (Nord-Ouest du Bénin). In *IJRSI*, **Volume V**, Issue VI, pp. 55 à 61.

Vitouley N., 2015 : Facteurs bioclimatiques et santé des enfants de 0 à 5 ans dans la commune de Glazoué. Mémoire de maitrise de géographie, FLASH, UAC, 112 p.

OMS, 2009 : *Changement climatique et santé*. Rapport du Secrétariat, Genève, Suisse, 7 p.

Rakotomalala R., 2012 : *Analyse de corrélation, étude des dépendances-variables quantitatives*, Université Lumière Lyon, France, 89 p.

Fonds des Nations Unies pour l'enfance (UNICEF), 2023 : Grandir en plein dérèglement climatique : Complément de l'Indice des risques climatiques pour les enfants, UNICEF, New York, Novembre 2023, 49 p.

MODELISATION PAR LA LOI GPD DES VAGUES DE CHALEUR ET QUANTIFICATION DES SEQUENCES DE SECHERESSE A KEDOUGOU AU SENEGAL

Ibrahima TOURE[1], Mamadou SARR[2], Ibrahima NGOM[1], Issa LEYE[1], Didier Maria NDIONE[1], Moussé Landing SANE[1], Soussou SAMBOU[1].

(1)*Laboratoire d'Hydraulique et de Mécanique des fluides (LHMF) de la Faculté des Sciences et Techniques (F.S.T) de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Sénégal e-mail :* panoya83@yahoo.fr

(2)*Laboratoire des sciences de l'atmosphère et des océans, matériaux-énergies-dispositifs (LSAO-MED), Université Gaston Berger de Saint-Louis, Sénégal, e-mail :* sarr.mamadou10@ugb.edu.sn

Résumé *: De nombreuses régions du monde sont exposées à des vagues de chaleur. Ces records de chaleur sont battus chaque année notamment en Afrique dans sa partie occidentale. Au Sénégal plus précisément à Kédougou, ces pics de chaleur combinés à l'accentuation de la sécheresse ont une incidence significative sur l'agriculture. L'objectif de cet article est d'évaluer la sévérité des vagues de chaleur. La méthode utilisée repose sur le calcul de l'Indice Standardisée de Précipitation (SPI) à différents pas de temps, du calcul des extrêmes climatiques, de l'analyse par la transformée en ondelette, de la modélisation par la loi GPD. Les résultats montrent une hausse du nombre de jours d'été de 366jours entre 1989 et 2008. Enfin les résultats de l'analyse du modèle GPD et de l'ondelette continue montrent une dizaine de vagues de chaleur de 3 jours aux 90 percentiles entre avril et juin qui se localisent dans les cycles climatiques (2-7ans) et (8-12ans).*

Mots-Clés *: **Températures, précipitations, vagues de chaleur***

Abstract: GPD modeling of heat waves and quantification of drought sequences in Kedougou, Senegal. *Many parts of the world are exposed to heat waves. Heat records are broken every year, particularly in West Africa. In Senegal, and more specifically in Kedougou, these heat peaks combined with increasing drought are having a significant impact on agriculture. The aim of this article is to assess the severity of heat waves. The method used is based on calculation of the Standard Precipitation Index (SPI) at different time steps, calculation of climatic extremes, wavelet transform analysis and GPD modeling. The results show a 366-day increase in the number of summer days between 1989 and 2008. Finally, the results of the GPD model and continuous wavelet analysis show a dozen or so 3-day heat waves at 90 percentiles between April and June, which fall within the (2-7yr) and (8-12yr) climate cycles.*

Keywords*: **Temperatures, precipitation, heat weave***

Introduction

En Afrique le taux d'élévation des températures est plus rapide que la moyenne mondiale, soit 0.3°C par décennies entre 1991 et 2021. Cette situation a baissé la productivité agricole du continent de 34 % depuis 1961. Ainsi, les risques liés à la sécheresse ont couté des pertes économiques et en vie humaine. De plus, le Rapport spécial sur la gestion des risques de catastrophes et de phénomènes extrêmes pour les besoins de l'adaptation au changement climatique publié par le GIEC en 2012 avait déjà sonné l'alerte. Selon ce rapport les vagues de chaleur et les périodes chaudes dureront plus longtemps, ce qui laisse supposer une persistance accrue des journées chaudes (90e centile) vers la fin du siècle. L'Afrique de l'Ouest notamment le Sénégal n'est pas épargné par les répercussions que pourraient avoir ces extrêmes climatiques. C'est là, tout le sens de cette étude portant sur la Modélisation par la loi GPD des vagues de chaleur et la quantification des séquences sécheresse dans la région de Kédougou au Sénégal.

La zone d'étude, la région de Kédougou est située dans l'extrême Sud-Est du Sénégal (**Figure 1**) et est frontalière avec le Mali et la Guinée. Elle se situe entre la latitude 12.6° et la longitude

-12.2. Sa superficie est de 16 896 Km^2 et son climat est tropical. Elle est arrosée par le fleuve Gambie, encore proche de sa source dans le Fouta Djallon.

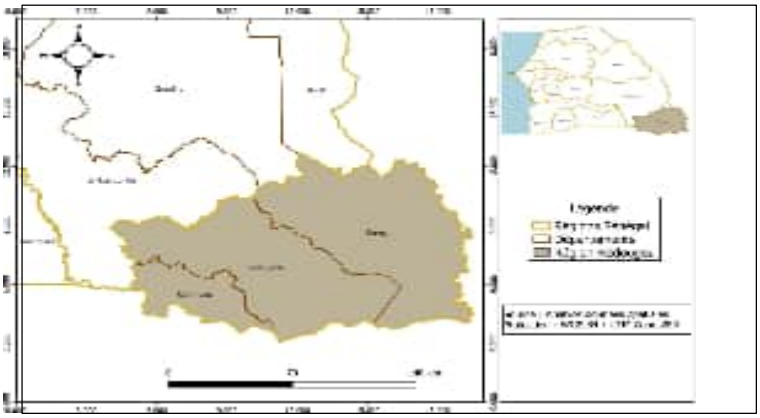


Figure 1 : localisation de la station de Kédougou

2. Méthodologie

2.1. Données collectées

L'étude repose sur l'analyse des données climatiques de température et de précipitations à l'échelle journalière entre 1973 et 2015. Egalement nous avons utilisé des données de précipitations annuelles de 1960 à 2010.

2.2. Outil de travail

Dans le cadre de cet travail plusieurs outils sont mis en contribution dont:

- Indice Standardisé de Précipitation

Pour déterminer la sévérité de la sécheresse, l'indice standardisé de précipitation (SPI) a été mis au point par McKee et al (1993). Cet indice permet d'estimer le déficit pluviométrique pour des échelles de temps différentes afin de mieux apprécier l'effet de la sècheresse sur la disponibilité des ressources en eau. L'indice standardisé de précipitation établi par la relation :

$\boldsymbol{SPI = (Pi - Pm)/\sigma}$ (Eq.1) o*ú* Pi est la pluie annuelle (en mm) et Pm la pluie moyenne de la série pour la période de 1950-2015 tandis que σ traduit l'écart-type de la série (TOURE et al, 20023).

- Indices climatiques extrêmes

Les indices climatiques extrêmes utilisés dans ce travail sont définis par l'OMM dans le cadre du "CC/CLIVAR Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI)". Le logiciel RClimDex, développé en différentes étapes par Zhang et Yang (2004) est utilisé.

- Modélisation par la loi GPD des vagues de chaleur

La distribution de PARETO ou GPD (Generalized Pareto Distribution) est utilisé pour modéliser les seuils de températures (Smax90 et Smin90) au 90éme percentile selon la méthode des dépassements des seuils ou POT (Peak Over Threshold). Cette distribution est une fonction de répartition caractérisée par trois paramètres selon l'équation :

$$H_{\xi,\delta,m}(x)= \begin{cases} 1-(1+\xi\,(x-m)/\delta)-1/\xi\,;\ \xi \neq 0 \\ 1-exp\left(-\frac{x-m}{\delta}\right);\ \xi,=0 \end{cases} \quad \text{(Eq.2)}$$

Où δ, ξ et m sont respectivement les paramètres d'échelle, de forme et de position

3. Résultats et discussions :

Dans cette étude les seuils au-delà duquel les températures journalières peuvent être modélisées par une distribution de PARETO ont été déterminés graphiquement à partir de la fonction moyenne des excès pour chaque série chronologique. Ainsi, les valeurs trouvées sont respectivement Smax90 = 40°C et Smin90 = 27°C (**Figure 2**). Ainsi les périodes présumées où on est susceptible de déceler une vague de chaleur sont celles ayant des jours successifs dont les températures maximales Tmax et les températures minimales Tmin sont au-delà des seuils. Ainsi le tableau 2 résume les résultats de l'analyse des vagues de chaleur.

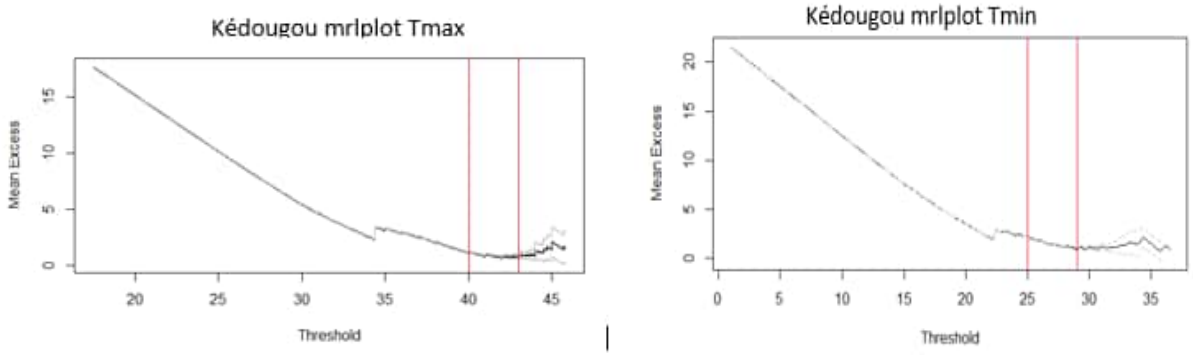


Figure 2 : Détermination graphique de seuils de températures à Kédougou (Smin90 et Smax90).

Tableau 1 : Résumé des vagues de chaleur à Kédougou

Nombre de jours consécutifs	Nombre de vagues de chaleur	Mois es occurrences	Indicateurs et seuils utilisés	Seuil Tmax (°C)	Seuil Tmin (°C)	Durée (jr) totale de ces occurrences
Au moins 5 jours	26	Mars (13), avril (3), mai(10)	Tmax et Tmin >90 p	40	27	10× 5*Jr* ; 8×6Jr ;2×7Jr 3×8Jr ;1× (10Jr,14Jr, 18Jr)
Au moins 7 jours	8	Mars (2), avril (5), mai(1)	Tmax et Tmin >90 p	40	27	2×7Jr, 3×8Jr, 1× (10Jr, 14Jr, 18Jr)

La quasi-totalité des vagues de chaleur sont enregistrées durant la période de suivie notamment en 1977, 1980, 1990, 2005, 2010, 2013 et 2015.Par ailleurs une légère augmentation du nombre de jours d'été et une diminution sensible des nuits tropicales pour les indices SU25 et TR20 sont notées. Le maximum des jours d'été, estimé à 366 jours est enregistré de 1989 à 2008 et le minimum est observé en 1976 pour 361 jours. Pour les nuits tropicales, un pic de 362 jours est aussi observé en 2008 alors que le minimum est décelé pour 220 jours entre 1998 et 2005 (**Figure 3**). En ce sens, l'analyse de l'évolution de l'indice SPI confirme ces résultats par des séquences de sécheresse plus prononcée et extrêmement sévères à la fin des années 1960 jusqu'à 1973 et en 1979. De même, malgré une alternance de périodes humides et sèche, cette dernière est plus accentuée de 2003 à 2016 (**Figure 4**) (A. Faye et al. ,2017).

En outre l'analyse par la transformée en ondelette continue des températures maximales à Kédougou montre un cycle climatique de 2 à 7ans et décennale (8-12) **(Figure 5a**). Cette variabilité interannuelle (2-7ans) semble à première vue être corrélée par les pics significatifs (1983, 1998 et 2016) des forts épisodes El Niño. Ainsi, l'analyse en ondelette a permis d'identifier les années correspondantes à des évènements de fortes chaleurs à travers ces bandes d'échelles.

Toutefois la comparaison de l'évolution de la température maximale mensuelle et de l'indice ONI infirment que les deux séries ont des cycles différents **(Figure 5b**). Cela n'implique pas l'absence de lien entre les deux séries mais pousse à articuler l'analyse sur la saisonnalité et le décalage temporelle des séries de températures (**Figure 5.c** et **Figure 5.d).** En effet pendant la période de la mousson une corrélation positive est observée en (Août-Septembre : +0.3 à +0.35), ce qui est à l'origine de l'élévation des températures maximales (**Diatta, S. & Fink, A.H.** (2019)).

De plus, cette situation découle de l'influence d'épisodes El Niño sur la hausse des températures maximales en Afrique de l'Ouest (+0.5 à +1.5°C) par le biais d'une baisse de la couverture nuageuse. Cela explique en grande partie la recrudescence des vagues de chaleur durant cette période. En retour, le faible impact de l'indice ONI sur les températures maximales (coefficient de corrélation : -0.2) pendant la saison sèche (novembre) peut s'expliquer par d'autres facteurs complexes comme l'influence de l'Harmattan. Ce dernier estompe les effets de l'ENSO.

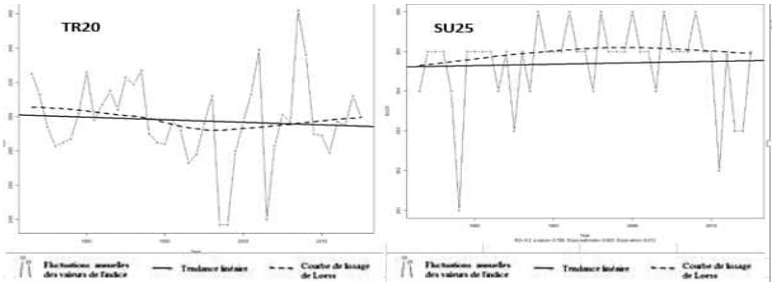


Figure 3: Courbe d'évolution des indices de fréquence

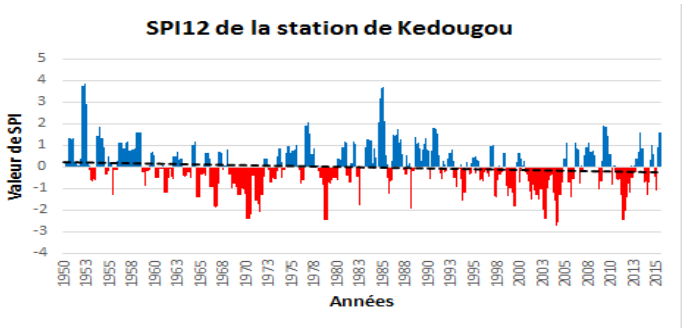


Figure 4: Courbe d'évolution de l'Indice Standardisé des Précipitations de la station de Kédougou

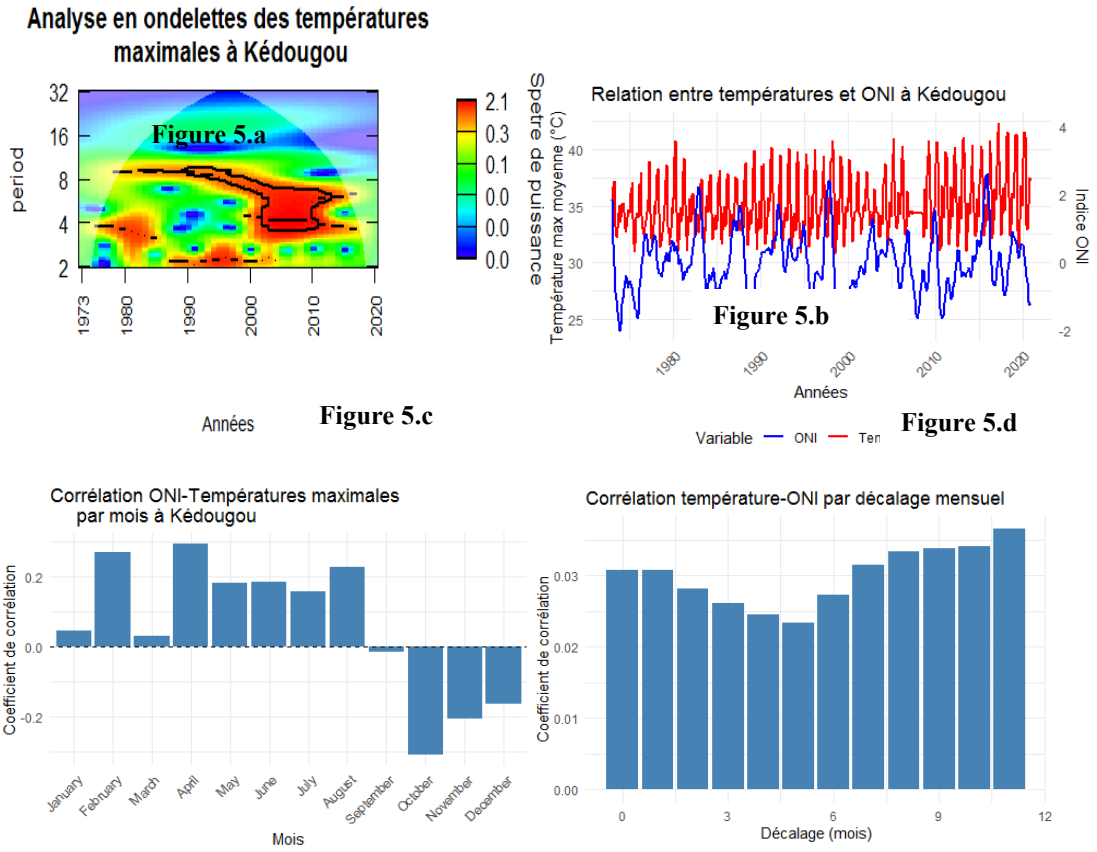


Figure 5:a. analyse en ondelette des températures maximales**, b.** relation entre température maximales et l'indice ONI, **c.** corrélation mensuelles ONI-températures maximales**, d.** corrélation par décalage mensuelles ONI-températures maximales.

Conclusion

Cette étude a permis d'identifier la sévérité des séquences de sècheresses qui sévit dans la zone Kédougou, en proie à des périodes de fortes chaleurs. Les résultats de l'analyse de l'évolution des indices des extrêmes climatiques ont consolidé ceux obtenus avec indice pluviométrique standardisé (SPI) notamment l'augmentation considérable du nombre de jours d'étés. Qui plus est, l'analyse par la transformée en ondelette confirme la prépondérance des vagues de chaleur dans cette zone.

Bibliographie

WMO, **(2012) :** Guide d'utilisation de l'indice normalise de precipitations, Organisation météorologique mondiale (OMM), 15-25 p.

TOURE I., Mamadou Sarr, Issa Leye, Soussou Sambou and Moussé Landing Sané, (2023): Caractérisation et modélisation par GEV de la variabilité climatique sur les ressources en eau dans la région de Kaolack au Sénégal International Journal Water Sciences and Environment Technologie Vol. (viii), Issue. **4**, December, pp. 35-47, ISSN Online: 1737-9350; ISSN Print: 1737-6688, Open Access

FAYE C., NDIAYE A., MBAYE I., (2017) : Une évaluation comparative des séquences de sécheresse météorologique par indices, par échelles de temps et par domaine climatiques au Sénégal. *J. Wat. Env. Sci.* Vol. **1**, N°1, 11-28p.

NICHOLSON, S.E. (2013), *"The West African Sahel: A Review of Recent Studies on the Rainfall Regime and Its Interannual Variability.*

DIATTA, S. & Fink, A.H. (2019),*"Statistical Relationship between ENSO and Extreme Rainfall in West Africa" Journal of Climate*, **32**(8), 2355-2374. DOI: 10.1175/JCLI-D-18-0525.1

ZHANG X. et YANG F. (2004), RClimdex 1.0, User Manual, Climate Research Branch Environment, Downsview, Ontario, Canada, 23 p.

McKee TB, Doesken NJ, Kliest J, (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales, Colorado Climate Center Department of Atmospheric Science Colorado State University Fort Collins, pp 43-50, Colorado**.**

PRATIQUES LIÉES À L'UTILISATION DES FOYERS TRADITIONNEL ET IMPACTS SUR LA SANTÉ DES FEMMES DE YAO SÉHI DANS LA COMMUNE DE YOPOUGON

Lou Ruth Victoire VANIE[1], Akoua Assunta ADAYE[2], Justin Kouadio KONAN[3]

1 Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny/CURAT, victoiredivine2019@gmail.com

2 Institut de Géographie Tropicale, Université Félix Houphouët-Boigny, adayeakoua@gmail.com

3 UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Félix Houphouët-Boigny/CURAT, justinkouadiokonan@gmail.com

Résumé : *En dépit des problèmes de santé auxquels elles sont exposées, les femmes du quartier précaire Yao Séhi utilisent presqu'exclusivement les foyers traditionnels comme source d'énergie pour la cuisson de leurs aliments. L'objectif général est de montrer l'impact des pratiques liées à l'utilisation des foyers traditionnels sur les problèmes de santé des femmes de ces femmes. De façon spécifique, il s'agit d'identifier les pratiques liées à l'utilisation des foyers traditionnels par les femmes à Yao Séhi, de déterminer les problèmes de santé des femmes de Yao Séhi et enfin proposer les foyers améliorés comme alternative en vue de réduire les problèmes de santé auxquels elles font face. Pour y parvenir, la méthodologie adoptée s'est appuyée sur la recherche documentaire, l'observation directe du terrain, des entretiens et un questionnaire adressé à un échantillon de 30 usagères de foyers traditionnels à Yao Séhi choisies aléatoirement. Les résultats montrent que 20 % de ces femmes utilisent les foyers traditionnels de bois, 30 % utilisent les charbons de bois et 50 % utilisent les deux pour la cuisson de leur repas. Les foyers traditionnels sont utilisés à des fins domestiques (60 %) et commerciales (40 %) par ces dernières. En outre, les problèmes de santé dont souffrent les femmes Yao Séhi sont les maladies cardiovasculaires (10 %), les maladies pulmonaires (20 %), les Infections Respiratoires Aigües (30 %), les dermatoses (25 %) et les maladies diarrhéiques (15 %). Face à ces problèmes de santé, l'usage des foyers améliorés se présente comme une alternative efficace et durable en vue de réduire les risques sanitaires liés à la cuisson domestique.*

Mots-clés *: Yao Séhi ; femmes ; foyer traditionnel ; Santé*

Summary : Practices related to the use of traditional fireplaces and impacts on the health of yao séhi women in the commune of Yopougon. *Despite the health problems to which they are exposed, the women of the precarious Yao Séhi neighbourhood use traditional stoves almost exclusively as a source of energy for cooking their food. The general objective is to show the impact of practices linked to the use of traditional stoves on the health problems of these women. Specifically, the aim is to identify the practices associated with the use of traditional stoves by women in Yao Séhi, to determine the health problems of the women of Yao Séhi and finally to propose improved stoves as an alternative with a view to reducing the health problems they face. To achieve this, the methodology adopted was based on documentary research, direct observation in the field, interviews and a questionnaire sent to a randomly selected sample of 30 female users of traditional fireplaces in Yao Séhi. The results show that 20% of these women use traditional wood-burning stoves, 30% use charcoal and 50% use both to cook their meals. Traditional fireplaces are used for domestic (60%) and commercial (40%) purposes. In addition, the health problems suffered by Yao Séhi women are cardiovascular disease (10%), lung disease (20%), acute respiratory infection (30%), dermatitis (25%) and diarrhoea (15%). Faced with these health problems, the use of improved stoves is an effective and sustainable alternative for reducing the health risks associated with domestic cooking.*

Keywords: *Yao Séhi; women; traditional households; health*

Introduction

En Afrique, 850 millions de personnes dépendent du bois et charbon pour cuisiner (Kouassi, 2018), une tendance aggravée par la flambée des prix du gaz et pétrole (+50% en un an, Doumbia et Diahuissier, 2020). Cette pratique, responsable d'une pollution intérieure toxique, cause près de la moitié des décès par pneumonie chez les moins de 5 ans (Stassen, 2018).

En Côte d'Ivoire, 76% des ménages abidjanais utilisent des foyers traditionnels (Aouaké, 2016), particulièrement dans le quartier précaire Yao Séhi. Cette étude vise à analyser l'impact sanitaire des foyers traditionnels sur les femmes, identifier leurs pratiques de cuisson et proposer les foyers améliorés comme alternative.

1.Matériel et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

Le quartier Yao Séhi est situé au centre de la commune de Yopougon. C'est, un quartier précaire implanté sur un site où des travaux sont en attentes d'être réalisés. Il occupe la voie qui doit relier le port d'Abidjan à l'île Boulay. La prolifération des dépôts sauvages d'ordures ménagères, la stagnation des eaux, associées aux sources insalubres d'approvisionnement en eau, au difficile accès à des centres communautaires de santé publique, au recours aux guérisseurs traditionnels pour les soins en cas de maladie, renforcent la gravité de la situation sanitaire des populations marginales vivant dans ce quartier précaire. Les femmes de Yao Séhi, utilisatrices des foyers traditionnels sont inégalement répartie sur le territoire de Yao Séhi. La figure ci-dessous est la carte de localisation du quartier Yao Séhi et des femmes utilisatrices de foyers traditionnels concentrés les unes à côtés des autres au Nord-Est de Yao Séhi (Cf. figure 1).

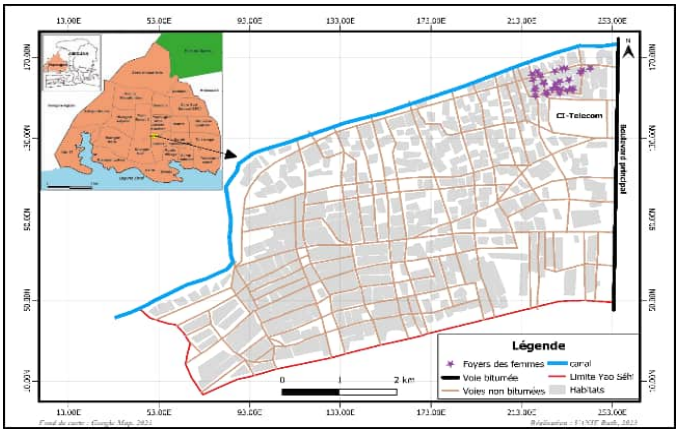


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

1.2.Méthode de collecte et de traitement des données

La réalisation de cette étude a nécessité une méthodologie qui s'est appuyée sur la recherche documentaire, l'observation directe du terrain, l'interview et un questionnaire adressé à un échantillon de 30 femmes choisies de façon non probabiliste dans le quartier Yao Séhi. La recherche documentaire a permis de passer en revue la littérature liée au sujet pour une meilleure compréhension et mieux orienter l'analyse. L'observation directe du terrain a permis d'avoir un aperçu général sur les pratiques liées à l'utilisation des foyers traditionnels à Yao Séhi. Elle a été essentielle pour examiner certains problèmes tels que la pollution de l'air, l'utilisation du bois-fagot, du charbon de bois, la proximité habituelle des ménages avec le feu, etc. Les interviews ont porté sur les pratiques liées à l'utilisation des foyers traditionnels, les problèmes de santé des femmes ainsi que, les moyens et les actions de la mairie pour l'amélioration du cadre de vie des femmes de Yao Séhi. Il en est de même pour le questionnaire. A la suite de la recherche documentaire et l'enquête de terrain, des données quantitatives et qualitatives ont été obtenus. Les données quantitatives ont été traité au moyen du logiciel

Sphinx pour la réalisation des tableaux et graphiques. Le logiciel Nvivo a permis de traiter les données qualitatives. Le logiciel ArcGIS a été nécessaires pour la réalisation des cartes.

2.Résultats

Les données collectées et le traitement réalisé ont permis d'obtenir des résultats organisés en trois points conformément aux trois objectifs spécifiques de l'étude.

2.1-Pratiques liées à l'utilisation des foyers traditionnels par les femmes à Yao Séhi

On distingue deux types de foyers traditionnels utilisés par les femmes de Yao Séhi pour la cuisson des repas : le foyer traditionnel de charbon et le foyer traditionnel de bois (Cf. Planche 1).



Planche 1 : Foyers traditionnels en bois (1) en charbon (2) et l'association des deux (3)

Les foyers traditionnels sont diversement utilisés par les femmes de Yao Séhi. En effet, 20 % des femmes utilisent les foyers traditionnels de bois pour la cuisson de leur repas et 30 % de ces dernières utilisent les charbons de bois. Cependant, 50 % ont répondu qu'elles utilisent les deux, c'est-à-dire qu'elles utilisent les foyers traditionnels de bois et les foyers traditionnel de charbon. Elles sont les plus majoritaires. Les avantages d'utiliser les deux résident dans le fait qu'ils donnent la possibilité aux femmes d'opérer un meilleur choix selon le prix du bois et du charbon sur le marché. Elles ont recours à celui qui a le prix le plus bas du jour sur le marché. La figure ci-dessous présente la proportion des modes de cuisson des repas par les femmes de Yao Séhi (Cf. Figure 2).

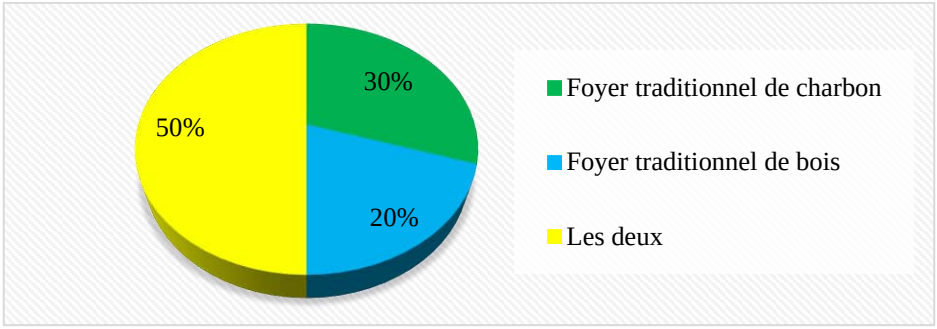


Figure 2 : Proportion des modes de cuisson des repas par les femmes de Yao Séhi

Les foyers traditionnels sont utilisés à des fins domestiques (60 %) et commerciales (40 %). L'usage domestique des foyers traditionnels est essentiellement pour les préparations des aliments à la maison afin de les consommer en famille. En revanche, les foyers traditionnels à usage commercial sont utilisés pour le commerce. Il s'agit de la restauration, du fumage de

poisson et de poulet pour la vente dans le quartier Yao Séhi et dans les autres quartiers de la commune de Yopougon pour la vente (Cf. Planche 2).



Planche 2 : Usage des foyers traditionnels à des fins domestiques (1) et commerciales (2)

2.2-Problèmes de santé des femmes de Yao Séhi

Les problèmes de santé des femmes Yao Séhi sont divers. En effet, 10 % de celles-ci souffrent de maladies cardiovasculaires, 20 % de maladies pulmonaires, 30 % d'Infection Respiratoire Aigüe, 25 % de dermatose et 15 % de maladies diarrhéiques. Ces maladies sont dues aux foyers traditionnels que ces femmes utilisent pour la cuisson de leur aliment. Car la fumée constitue un réel problème de santé. La figure ci-après montre les taux des maladies des femmes de Yao Séhi (Cf. Figure 3).

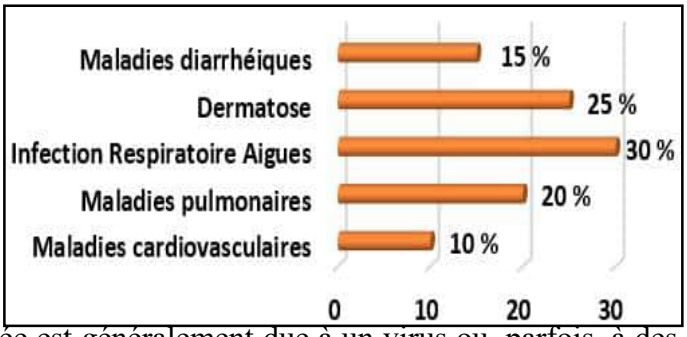


Figure 2 : Taux des maladies des femmes de Yao Séhi

La diarrhée est généralement due à un virus ou, parfois, à des aliments contaminés. Moins fréquemment, elle peut être le signe d'une autre maladie, comme une maladie inflammatoire de l'intestin ou le syndrome du côlon irritable. La dermatose désigne toutes les maladies de peau en général. Ces dernières détériorent la qualité de vie des personnes qui en sont atteintes. Au-delà de leur aspect inesthétique, il existe aussi un impact négatif au niveau physique, fonctionnel, psychologique et social. Les infections aiguës des voies respiratoires se présentent sous la forme de pics saisonniers et peuvent être causées par de nombreux agents pathogènes différents. Les symptômes comprennent la fièvre, l'essoufflement, l'écoulement nasal, les maux de gorge et un malaise général. Les maladies respiratoires se manifestent à tout âge : chez les enfants, les adolescents, les adultes et les aînés. Parmi les plus courantes, on retrouve l'asthme, la maladie pulmonaire obstructive chronique, la mucoviscidose, l'apnée du sommeil et les maladies pulmonaires professionnelles. Les maladies cardiovasculaires regroupent un ensemble d'affections du cœur et des vaisseaux sanguins, notamment les maladies coronariennes, les maladies cérébrovasculaires et les cardiopathies rhumatismales. Ces maladies exposent à de nombreuses complications aiguës ou chroniques : infarctus du myocarde, accident vasculaire cérébral, insuffisance cardiaque, atteinte des extrémités des membres inférieurs, troubles de la vue etc. Ces maladies dont souffrent les femmes de Yao Séhi sont dues

à l'usage des foyers traditionnels pour la cuisson des aliments. Les fumées émises sont très nocives pour la santé humaine.

2.3-L'usage des foyers améliorés : une alternative en vue de réduire les problèmes de santé auxquelles les femmes de Yao Séhi font face

Face aux problèmes de santé dont sont victimes les femmes de Yao Séhi utilisatrices des foyers traditionnels, l'usage des foyers améliorés se présente comme une solution efficace et durable en vue de réduire les risques sanitaires liés à la cuisson domestique. Ces foyers améliorés ont des bénéfices sanitaires et économiques en termes de plus faible consommation de charbon. Ils sont conçus avec des métalliques en inox et sont entièrement fabriqués en atelier par des artisans, des professionnels dans la fabrication des foyers améliorés. L'efficacité et l'acceptation du foyer dépendent de son design et de sa qualité. Il utilise du bois ou du charbon de bois, du coc de cocos. Il a une durée de vie moyenne de 2 ans et plus. En outre, les foyers améliorés constituent un équipement de cuisson offrant des rendements énergétiques plus élevés que les foyers traditionnels, grâce à un meilleur transfert de chaleur à la marmite par convection et rayonnement. Plusieurs prototypes de foyers améliorés présentent l'avantage de diminuer les émissions de particules en améliorant la performance énergétique (moins de consommation de combustibles). En vue de réduire les risques sanitaires liés à la cuisson des aliments par l'usage des foyers traditionnels les femmes de Yao Séhi on désormais recours aux foyers améliorés. Car l'équipe d'un projet dénommé : APIMAMA (Air Pollution Mitigation Actions for Megacities in Africa : Abidjan as a real world laboratory study), leurs a octroyés des foyers améliorés. Le projet APIMAMA vise à définir et à évaluer l'impact de stratégies d'atténuation des risques sanitaires liés à la pollution de l'air issue de toutes les sources de combustion dans les villes africaines. La recherche est focalisée sur les grands espaces urbains, ces derniers étant caractérisés par des niveaux de pollution de l'air considérables qui risquent de s'intensifier dans les années à venir avec les effets de la croissance démographique et de l'urbanisation en Afrique. Abidjan, dont la population atteint 3,4 millions d'habitants, a donc été retenue comme « ville-laboratoire » pour le projet (ONU, 2014). La planche ci-dessous présente les foyers améliorés octroyés aux femmes de Yao Séhi par le projet APIMAMA (Cf. Planche 3).



Planche 3 : Vue des foyers améliorés octroyés aux femmes de Yao Séhi dans le cadre APIMAMA

Conclusion

Au terme de la présente étude, il convient de retenir qu'on distingue deux types de foyers traditionnels utilisés par les femmes de Yao Séhi pour la cuisson des repas, il s'agit du foyer traditionnel de charbon et du foyer traditionnel de bois. Certaines femmes utilisent les foyers traditionnels de bois pour la cuisson de leur repas (20 %) tandis que d'autre (30 %) utilisent les

charbons de bois. Cependant, une troisième catégorie de femmes utilise les deux (50 %), c'est-à-dire les foyers traditionnels de bois et les foyers traditionnel de charbon. Les foyers traditionnels sont utilisés à des fins domestiques par 60 % des femmes et à des fins commerciales par 40 % de celles-ci. De ce fait, elles ont des problèmes de santé de nature divers. En effet, 10 % de celles-ci souffrent de maladies cardiovasculaires, 20 % de maladies pulmonaires, 30 % d'Infection Respiratoire Aigüe, 25 % de dermatose et 15 % de maladies diarrhéiques. Ces maladies sont dues aux foyers traditionnels que ces femmes utilisent pour la cuisson de leur aliment. Car la fumée constitue un réel problème de santé. Face à cela, le recours à des foyers améliorés s'est présenté comme une solution efficace et durable en vue de réduire les risques sanitaires liés à la cuisson domestique. A cet effet, l'équipe d'un projet dénommé : APIMAMA (Air Pollution Mitigation Actions for Megacities in Africa : Abidjan as a real world laboratory study), leurs a octroyés des foyers améliorés. Ce projet APIMAMA vise à définir et à évaluer l'impact de stratégies d'atténuation des risques sanitaires liés à la pollution de l'air issue de toutes les sources de combustion dans les villes africaines. La recherche est focalisée sur les grands espaces urbains, ces derniers étant caractérisés par des niveaux de pollution de l'air considérables qui risquent de s'intensifier dans les années à venir avec les effets de la croissance démographique et de l'urbanisation en Afrique. Abidjan, dont la population atteint 3,4 millions d'habitants, a donc été retenue comme « ville-laboratoire » pour le projet (ONU, 2014). Alors, les femmes de Yao Séhi ont aussi bénéficié gratuitement des avantages de ce projet par la réception gratuite des foyers améliorés.

Remerciements

Sincères remerciements aux initiateurs du projet APIMAMA car la présente étude à bénéficier des ressources humaines et économiques de ce projet pour sa réalisation. Les remerciements vont aussi à l'endroit des co-auteurs de cet article scientifique pour avoir contribué à son achèvement. Toutes nos reconnaissances aux organisateurs du 38ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), organisé par le Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eaux, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), du 08 au 10 juillet 2025 (excursion scientifique les 11 et 12 juillet) sous le thème : Climat, Agriculture, Ressources en eau, Tourisme et Développement.

Bibliographie

AOUAKE, D. GOMEU, A. GUHUR, R. VAUDRY, 2016 : Diagnostic des bioénergies dans la région de la Mé Résumé : pour décideurs, Projet Redd+ de la Mé, 19 pages.

DONGO K., 2008, Analyse de la situation de l'environnement sanitaire des quartiers défavorisés dans le tissu urbain de Yopougon à Abidjan, Côte d'Ivoire, Vol **8**, Numéro 3, 15 pages.

DOUMBIA F, DIAHUISSIER A, 2020, Etude des dégâts d'exploitation, commercialisation de bois d'œuvre dans le sud de la forêt sacrée du haut Sassandra, Abidjan, IDEFOR, 100 pages.

KOUASSI Y.D, 2018, Prolifération des foyers traditionnels dans les quartiers sous-intégrés d'Abidjan, Mémoire de Master professionnel, Environnement, Université Nagui Abrogoua, 98 pages.

STASSEN H.E, 2018, Faits nouveaux concernant la technologie de production du charbon de bois, *Revue Internationale des Forêts et des Industries Forestières*, Vol. **53**, Londres, FAO,

STASSEN H. E, 2002, « Faits nouveaux concernant la technologie de production du charbon de bois », Revue Internationale des Forêts et des Industries Forestières, FAO, vol. **53**, Londres, pp.55-64.

CLIMAT ET TOURISME

ÉTUDE DES TECHNIQUES DE PREPARATION ET DES PERSPECTIVES DE VALORISATION DU METS TRADITIONNEL *ATCHONKOUN* DANS LA CULTURE GASTRONOMIQUE DES FON D'ABOMEY AU BENIN

Gildas ADJAHO

**CReA-Patrimoine - Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine, Université libre de Bruxelles, Belgique[1]* gildas.adjaho@ulb.be

**Laboratoire Pierre Pagney : Climat Écosystèmes, Eau et Développement, École Doctorale Pluridisciplinaire ECD, UAC, Bénin[2],*

Résumé : *La gastronomie traditionnelle représente une composante essentielle du patrimoine culturel, mettant en lumière l'histoire, les traditions, les particularités climatiques et les ressources propres à la population locale. Atchonkoun, mets traditionnel emblématique des Fon d'Abomey au Bénin, incarne les valeurs ancestrales et culturelles de cette communauté. Préparé à base de maïs et de haricots selon des techniques transmises de génération en génération, ce plat a été identifié comme étant en voie de disparition. Une enquête menée auprès de 318 répondants a mis en évidence les nombreux défis auxquels Atchonkoun est confronté. Malgré sa forte valeur symbolique et culturelle, sa consommation reste marginalisée, et sa reconnaissance demeure cantonnée au niveau local, limitant ainsi son rayonnement national et international. Cette étude a recensé les différentes techniques traditionnelles de préparation de l'Atchonkoun et a identifié les obstacles à sa conservation et à sa transmission. Les résultats révèlent l'importance cruciale de préserver ce plat, non seulement pour sauvegarder un élément fondamental du patrimoine culinaire des Fon d'Abomey, mais aussi pour enrichir et diversifier la cuisine béninoise. Enfin, cette étude a proposé des stratégies concrètes pour valoriser ce patrimoine gastronomique, notamment la création de labels de qualité afin de préserver son authenticité, la formation des producteurs pour allier tradition et qualité, ainsi que l'intégration du mets dans des circuits gastronomiques modernes.*

Mots clés*: Atchonkoun, Patrimoine gastronomique, Valorisation, Gastronomie, Fon d'Abomey.*

Abstract: Study of preparation techniques and prospects for promoting the traditional atchonkoun dish in the gastronomic culture of the fon d'Abomey in Benin. *Traditional gastronomy represents an essential component of cultural heritage, highlighting history, traditions, climatic particularities and resources specific to the local population. Atchonkoun, an emblematic traditional dish of the Fon d'Abomey in Benin, embodies the ancestral and cultural values of this community. Prepared with corn and beans according to techniques transmitted from generation to generation, this dish has been identified as being endangered. A survey of 318 respondents highlighted the many challenges at which Atchonkoun faces. Despite its strong symbolic and cultural value, its consumption remains marginalized, and its recognition remains confined to the local level, thus limiting its national and international influence. This study has identified the different traditional techniques for preparing the Atchonkoun and identified obstacles to its conservation and its transmission. The results reveal the crucial importance of preserving this dish, not only to safeguard a fundamental element of the culinary heritage of the Fon d'Abomey, but also to enrich and diversify Beninese cuisine. Finally, this study proposed concrete strategies to enhance this gastronomic heritage, in particular the creation of quality labels in order to preserve its authenticity, the training of producers to combine tradition and quality, as well as the integration of the food in modern gastronomic circuits.*

Keywords: Atchonkoun, gastronomic heritage, valuation, gastronomy, Fon d'Abomey.

Introduction

La gastronomie traditionnelle représente un ensemble d'éléments culturels, historiques et sociaux transmis de génération en génération à travers la préparation et la consommation d'aliments. Bien au-delà du simple acte de manger, elle constitue un rituel qui relie les gens, préserve le patrimoine et façonne l'identité des communautés. Elle reflète l'histoire, les coutumes, les conditions climatiques et les ressources locales (Capan, Fanika, 2024). L'alimentation, besoin fondamental de l'être humain, assure non seulement sa survie, mais également son bien-être physique et mental. Comme l'affirme l'anthropologue Claude Lévi-Strauss (2009), « la cuisine est un langage dans lequel une société traduit sa structure et ses valeurs ».

Chaque pays et chaque région possède des spécialités culinaires qui racontent une histoire, reflètent un terroir et incarnent des traditions séculaires. La cuisine locale dépasse une simple combinaison d'ingrédients et de recettes pour devenir un marqueur identitaire. Avec la mondialisation, les échanges culturels transforment les pratiques culinaires en intégrant des influences variées, un phénomène souvent qualifié de fusion gastronomique (Johnston et Baumann, 2015). Par ailleurs, dans de nombreuses cultures, la nourriture joue un rôle central dans les rassemblements sociaux, les cérémonies religieuses et les rites de passage, traduisant ainsi les valeurs et le patrimoine d'une société (Mintz et Du Bois, 2002). La nourriture reflète également les influences historiques d'une société. Par exemple, les épices dans la cuisine indienne témoignent de son histoire commerciale (Achaya, 1994), tandis que l'utilisation du riz en Asie illustre l'importance de l'agriculture (Bray, 1986). Elle est aussi un indicateur de structure sociale : dans certaines cultures, des aliments spécifiques sont réservés à des occasions ou à des classes sociales précises, reflétant les hiérarchies et les valeurs de la société (Goody, 1982). En outre, la nourriture permet d'exprimer une identité culturelle et un patrimoine, même loin des terres ancestrales (Mintz, 1996).

1-Description

Le Bénin, riche de sa diversité ethnique et culturelle, possède une gastronomie variée, encore méconnue et sous-valorisée (Adjovi, 2013). Ce patrimoine culinaire reflète les traditions des différentes communautés du pays, mettant en valeur des techniques ancestrales de préparation et des ingrédients locaux uniques (Aguessy et al., 2005). Des mets emblématiques comme *Atchonkoun*, plat traditionnel des Fon d'Abomey, témoignent de ce patrimoine culinaire unique. Préparé à base de maïs, de haricots et d'épices, ce plat incarne un savoir-faire ancestral transmis au fil des générations. Cependant, la mondialisation et l'évolution des habitudes alimentaires mettent en péril ces traditions. Face à ces défis, valoriser les mets locaux comme Atchonkoun est essentiel pour préserver l'identité culturelle béninoise tout en promouvant un levier de développement économique et touristique. Cet article explore les spécificités de ce plat, en analysant ses techniques de préparation, ses influences culturelles et les défis liés à sa conservation. L'article a démontré que Atchonkoun, bien plus qu'un simple mets, constitue un patrimoine immatériel à préserver et promouvoir pour soutenir l'identité nationale et le développement durable de la gastronomie béninoise.

2. Méthodologie

Cette section décrit les étapes et outils utilisés pour mener l'étude sur les techniques de réalisation et de valorisation du mets Atchonkoun dans la tradition gastronomique des Fon d'Abomey. La méthodologie adoptée combine des enquêtes sur le terrain, des recherches documentaires, et une analyse rigoureuse des données.

2.1 Approche méthodologique

2.1.1. Recherches documentaires

Les recherches documentaires ont permis de recueillir des informations préliminaires sur:

- La valorisation des matières premières locales dans la gastronomie.
- Les pratiques culinaires traditionnelles des Fon.

Des mémoires académiques, des publications scientifiques, des archives historiques et des ouvrages spécialisés ont été consultés dans plusieurs centres de documentation et bibliothèques locales.

2.1.2 Enquête de terrain

Les enquêtes de terrain ont été menées en deux phases:

Phase 1: Pré-enquête

Cette phase exploratoire a servi à identifier les acteurs clés impliqués dans la préparation et la valorisation de l'Atchonkoun, notamment les vendeuses de rue, les promoteurs de restaurants, les consommateurs, et les nutritionnistes. Elle a également permis de délimiter les quartiers à cibler pour une collecte de données exhaustive.

Phase 2 : Enquête principale

Lors de cette phase, des données ont été collectées auprès de 318 répondants répartis entre quatre catégories : promoteurs de restaurants, vendeuses de mets, consommateurs de mets, et agents de santé (nutritionnistes). La répartition des répondants selon ces catégories est présentée dans le tableau ci-dessous.

2.1.3 Techniques de collecte des données

Deux principales techniques ont été utilisées:

- **Entretiens individuels**: Ces échanges guidés avec les acteurs cibles ont permis d'explorer leurs expériences, leurs perceptions et leurs suggestions pour la valorisation de l'Atchonkoun. Un guide d'entretien structuré a été utilisé pour assurer la cohérence des données recueillies.

3-Discussion

L'étude menée sur le mets traditionnel **Atchonkoun** a permis de mettre en lumière non seulement la richesse culturelle de ce plat dans la gastronomie Fon, mais aussi les défis auxquels il fait face dans sa préparation, sa consommation, et sa valorisation. Cette analyse révèle des éléments fondamentaux pour mieux comprendre son contexte actuel et ses perspectives futures.

Les résultats de l'enquête montrent que le **Atchonkoun** est perçu de manière globalement positive par les répondants, en tant que plat emblématique de la culture Fon. Ce mets, consommé essentiellement lors de grandes réunions familiales ou communautaires, incarne un lien social fort. Toutefois, la perception de ce plat reste largement limitée à un cadre local, sans réelle visibilité à l'échelle nationale ou internationale. Ce constat souligne l'importance de réfléchir à des stratégies de diffusion pour accroître sa notoriété, tout en préservant son authenticité.

Les contraintes relevées dans la préparation de l'Atchonkoun, telles que la disponibilité saisonnière de certains ingrédients, le manque de matériel moderne, ainsi que les conditions de travail précaires des vendeuses, sont des facteurs limitants qui affectent directement la qualité du mets. La dépendance à des techniques traditionnelles, bien qu'elles garantissent l'authenticité du plat, entrave parfois sa production à grande échelle. En outre, les conditions de travail difficiles, en particulier en extérieur, peuvent poser des risques en matière de sécurité sanitaire, ce qui constitue un frein à la diffusion plus large du mets dans d'autres circuits commerciaux.

Pour assurer la pérennité et la reconnaissance du **Atchonkoun**, il est crucial de mettre en place des stratégies de valorisation adaptées. La création de labels de qualité pourrait constituer un levier efficace pour promouvoir ce mets à l'échelle régionale et internationale. Un label garantissant l'authenticité et la qualité du produit permettrait d'attirer une clientèle soucieuse de consommer des produits locaux et traditionnels, tout en préservant les méthodes de préparation ancestrales.

La formation des producteurs et des acteurs de la chaîne de valeur s'avère également indispensable. Bien que les techniques traditionnelles restent au cœur du processus de préparation, l'introduction de bonnes pratiques sanitaires et de méthodes de conservation pourrait améliorer la qualité du produit final, rendant l'Atchonkoun plus compétitif sur le

marché local. Des programmes de formation pourraient par ailleurs renforcer l'aspect technique de la production tout en respectant les spécificités culturelles du mets.

L'intégration de Atchonkoun dans les menus des restaurants gastronomiques et la collaboration avec des chefs locaux pourrait également jouer un rôle central dans sa valorisation. L'inclusion de ce mets dans des événements culinaires et des festivals gastronomiques permettrait de le faire connaître auprès d'un public plus large. Par ailleurs, des campagnes de promotion et de documentation sur l'histoire et la préparation de l'Atchonkoun contribueraient à sa reconnaissance au-delà des frontières locales.

Les résultats obtenus sur la préparation du mets **Atchonkoun** offrent une perspective intéressante sur les pratiques culinaires des Fon d'Abomey, tout en présentant des similitudes et des différences avec d'autres traditions culinaires en Afrique de l'Ouest. Cette discussion compare les ingrédients, les techniques de préparation et les méthodes de conservation du **Atchonkoun** avec celles d'autres mets traditionnels d'Afrique de l'Ouest.

Les ingrédients principaux de **Atchonkoun**, à savoir le maïs et les haricots, sont fréquemment utilisés dans diverses cuisines d'Afrique de l'Ouest. Par exemple, le **haricot** est un ingrédient essentiel dans des plats comme le *"Ewa Agoyin"* au Nigéria, un plat à base de haricots accompagnés de sauce épicée (Ilechukwu et al., 2023). De même, le **maïs** est largement utilisé dans des mets comme le *"Garba"* en Côte d'Ivoire, un plat composé de semoule de maïs accompagné de haricots et de poisson ou de viande (Kouadio et al., 2022). Une différence importante réside dans la manière de préparer ces ingrédients. Tandis que dans **Atchonkoun**, le maïs et les haricots sont cuits séparément avant d'être assemblés, d'autres cuisines ouest-africaines comme le *"Moi Moi"* au Nigéria cuisent les ingrédients ensemble sous forme de pâte de haricots (Chikezie et al., 2021).

La technique de cuisson de **Atchonkoun**, qui consiste à cuire les ingrédients séparément avant de les mélanger, est similaire à celle observée dans la préparation de **fufu** ou de **Tô** au Ghana et au Burkina Faso (Akindele et al., 2022). Dans ces plats, chaque ingrédient est traité indépendamment pour préserver sa texture et son goût. En revanche, dans des plats comme le *"Nigerian Jollof Rice"*, les ingrédients sont généralement cuits ensemble dans une seule casserole, ce qui modifie la texture du plat final (Adebayo et al., 2021).

Concernant l'assaisonnement, **Atchonkoun** utilise des **épices** comme le **piment** et le **poisson fumé**, une méthode de préparation partagée par d'autres plats traditionnels de la région. Le *"Efo Riro"* au Nigéria, par exemple, associe des épices similaires avec du poisson ou de la viande pour renforcer la saveur (Adepoju et al., 2023). La friture des tomates dans de l'huile avant de les ajouter au mélange est une caractéristique particulière de **Atchonkoun,** que l'on retrouve également dans la préparation de la sauce pour le *"Nigerian Stew"* (Ola et al., 2022).

La conservation des mets traditionnels, y compris **Atchonkoun**, repose principalement sur des méthodes simples telles que la conservation à température ambiante. Cette pratique est courante à travers l'Afrique de l'Ouest, mais elle présente des défis sanitaires, notamment en termes de sécurité alimentaire dans des environnements chauds et humides. Par exemple, des plats comme le *"Jollof Rice"* et le *"Attiéké"* sont souvent laissés à température ambiante pendant plusieurs heures avant d'être consommés, ce qui peut entraîner la prolifération de bactéries pathogènes (Kouadio et al., 2021). En revanche, des techniques modernes comme la **réfrigération** ou la **congélation** commencent à être utilisées dans les zones urbaines, mais elles ne sont pas accessibles dans les communautés rurales (Adebayo et al., 2023).

Atchonkoun, tout en conservant ses méthodes de préparation traditionnelles, est confronté à des défis modernes liés à l'urbanisation rapide et à la disponibilité limitée de certains ingrédients. Ce phénomène est similaire à ce que l'on observe dans d'autres cuisines ouest-

africaines, où des ajustements ont été apportés aux pratiques culinaires pour faire face à des changements dans la disponibilité des ressources. Par exemple, des alternatives industrielles comme la **farine de maïs pré-cuite** sont utilisées dans des plats comme le *"Fufu"* au Ghana, afin de gagner du temps et de répondre aux besoins des consommateurs urbains (Akindele et al., 2022). Cette tendance pourrait également influencer la préparation de **Atchonkoun**, avec l'introduction d'ingrédients prétraités ou d'outils de cuisine modernes.

Conclusion

L'étude de **Atchonkoun**, plat traditionnel des Fon d'Abomey, nous a permis d'explorer non seulement les particularités de la cuisine béninoise, mais aussi de situer cette préparation dans un contexte plus large de la gastronomie ouest-africaine. Les résultats de cette étude montrent que **Atchonkoun**, à travers ses ingrédients principaux tels que le maïs et les haricots, partage des similitudes avec plusieurs autres plats d'Afrique de l'Ouest, comme le *Garba* ivoirien ou le *Jollof Rice* nigérian. Toutefois, chaque région adapte ses techniques de préparation, de cuisson et d'assaisonnement en fonction de ses ressources locales, de ses traditions culturelles et de ses influences contemporaines.

La manière dont les ingrédients sont préparés, souvent cuits séparément avant d'être assemblés, constitue une caractéristique distinctive de **Atchonkoun**, contrairement à d'autres plats où les ingrédients sont cuits ensemble. De plus, l'utilisation d'épices comme le piment et le poisson fumé, ainsi que la méthode de friture des tomates, témoignent d'une richesse culinaire qui traverse les frontières de l'Afrique de l'Ouest.

Cependant, cette étude a également mis en lumière les défis liés à la conservation des mets traditionnels dans un contexte moderne, notamment en ce qui concerne la sécurité alimentaire et la disponibilité des ingrédients. Bien que la méthode de conservation traditionnelle à température ambiante reste courante, les contraintes de l'urbanisation et de l'accès limité aux infrastructures modernes obligent de plus en plus de populations à recourir à des solutions plus pratiques, telles que l'utilisation d'ingrédients prétraités.

Enfin, la cuisine ouest-africaine, et en particulier **Atchonkoun**, est un terrain d'étude fascinant qui illustre à la fois la diversité culinaire de la région et les dynamiques contemporaines qui influencent les habitudes alimentaires. L'intégration de méthodes modernes de conservation et de préparation pourrait être la clé pour garantir la pérennité de ces traditions gastronomiques tout en répondant aux besoins des populations urbaines et modernes.

Ainsi, cette recherche offre une contribution importante à la compréhension des pratiques culinaires en Afrique de l'Ouest, en soulignant les ponts entre tradition et modernité, tout en préservant l'essence des plats qui font partie intégrante du patrimoine culturel de la région.

Remerciements :

Les auteurs tiennent à exprimer leur sincères remerciements au CReA-Patrimoine - Centre de Recherches en Archéologie et Patrimoine, Université libre de Bruxelles, Belgique, ainsi qu'au Laboratoire Pierre Pagney: Climat, Écosystèmes, Eau et Développement, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire ECD, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, pour leur soutien inestimable et les ressources mises à disposition tout au long de ce processus de recherche.

Bibliographie

Adepoju, A., et al. (2023). *Efo Riro: Un plat nigérian aux épices et poisson*. *African Culinary Heritage Journal*, **14**(2), 102-117.

Adjovi, T. (2013). *La gastronomie béninoise : un patrimoine sous-valorisé*. *Revue Africaine de Gastronomie*, **2**(4), 88-102.

Ilechukwu, O., et al. (2023). *Ewa Agoyin : Un plat traditionnel nigérian*. *Nigerian Culinary Review*, **15**(3), 112-126.

Kouadio, S., et al. (2022). *Garba: Un mets ivoirien à base de maïs*. *Revue de la Gastronomie Ivoirienne*, **8**(1), 67-80.

Mintz, S. W. (1996). *Nourriture et identité culturelle*. *Gastronomica: The Journal of Food and Culture*, **7**(1), 15-28.

Mintz, S. W., & Du Bois, C. (2002). The Anthropology of Food and Eating. Annual Review of Anthropology, 31(1), 99-119.

ENJEUX ET PERSPECTIVES DE LA VALORISATION DU PATRIMOINE NATUREL DES COMMUNES DU SUD BÉNIN-TOGO

Cokou Romain AHLINVI, Expedit Wilfrid VISSIN, Jean-François FAÜ, Jacques AGUIADAHO

Université Senghor / Université d'Abomey-Calavi, cokou.ahlinvi.2020@alumni-usenghor.org, +229 0162763105 / 0195198946

Université Senghor Alexandrie, jffau@yahoo.fr / jean-francois.fau@usenghor.org

Université Nationale d'Agriculture (Bénin), jaguiadaho@gouv.bj / jjackthree@yahoo.fr

Résumé *: Enjeux et perspectives de la valorisation du patrimoine naturel des communes du sud Bénin-Togo. Cet article analyse la valorisation du patrimoine naturel dans huit communes frontalières du sud du Bénin et du Togo. Ces zones riches en biodiversité et en culture ont un fort potentiel de développement durable et d'intégration transfrontalière. Cependant, des défis subsistent : exploitation limitée, manque de stratégies de conservation et faible collaboration intercommunale. L'étude, basée sur des enquêtes et analyses documentaires, révèle une faible harmonisation des politiques environnementales et un manque d'infrastructures écotouristiques. Elle propose une gestion participative et des partenariats public-privé pour préserver les écosystèmes et dynamiser l'économie locale.*

Mots-clés *: patrimoine naturel, valorisation, communes frontalières, développement durable.*

Abstract *: Challenges and perspectives of enhancing the natural heritage of municipalities in southern Benin and Togo. This article analyzes the enhancement of natural heritage in eight border municipalities in southern Benin and Togo. These areas, rich in biodiversity and culture, have strong potential for sustainable development and cross-border integration. However, challenges remain: limited exploitation, lack of conservation strategies, and weak inter-municipal collaboration. The study, based on surveys and documentary analysis, reveals poor harmonization of environmental policies and a lack of ecotourism infrastructure. It proposes participatory management and public-private partnerships to preserve ecosystems and boost the local economy.*

Keywords: *natural heritage, enhancement, border municipalities, sustainable development.*

Introduction

Situées dans une zone d'une incroyable diversité biologique, les communes du sud du Bénin et du Togo possèdent un patrimoine naturel d'une grande valeur, composé d'écosystèmes terrestres et aquatiques. Ce capital naturel ne se limite pas à sa richesse écologique, mais représente également une ressource essentielle pour les populations locales qui en dépendent pour leur survie. Des secteurs comme l'agriculture, la pêche et l'écotourisme tirent directement profit de ces écosystèmes, jouant ainsi un rôle clé dans l'économie locale et la sécurité alimentaire. Dans un contexte mondial de plus en plus sensibilisé au développement durable, la mise en valeur de ce patrimoine naturel offre des opportunités pour le développement local.

Toutefois, ces milieux naturels font face à des menaces croissantes. Par exemple, les mangroves de Grand-Popo et d'Aklakou, essentielles à la reproduction des espèces halieutiques, subissent une pression due à l'exploitation excessive du bois de palétuvier et à l'urbanisation. De même, les berges du fleuve Mono à Athiémé et Afangnan connaissent une forte érosion, mettant en péril des terres agricoles et des infrastructures vitales. Face à ces défis, il devient urgent de mettre en place des stratégies de valorisation durable adaptées aux réalités locales.

1. Contexte et importance du patrimoine naturel dans les communes du sud Bénin-Togo

Le sud du Bénin et du Togo regorge de trésors naturels, allant des forêts de mangroves aux plaines inondables, en passant par des lagunes et des zones humides essentielles à la biodiversité. À Grand-Popo, la Bouche du Roy, point de rencontre entre le fleuve Mono et l'océan Atlantique, constitue un site écologique unique où se mêlent eau douce et eau salée,

favorisant une biodiversité exceptionnelle. Cette zone est non seulement un sanctuaire pour plusieurs espèces d'oiseaux migrateurs, mais aussi un site d'intérêt pour le développement de l'écotourisme.

Autrefois perçus dans les discours politiques comme des espaces associés à des pratiques occultes et obscurantistes, les forêts sacrées sont désormais reconnues comme des sites majeurs de préservation du patrimoine culturel et naturel (Juhe-Beaulaton, 2010). Par ailleurs, la réhabilitation des cultes vodous joue un rôle essentiel dans l'avenir de ces sanctuaires sacrés. Ainsi, l'interaction entre le politique et le religieux façonne ces espaces, en les inscrivant dans des dynamiques sociales et territoriales, et plus récemment, patrimoniales.

De son côté, Aklakou, village togolais voisin, possède une vaste zone de mangroves encore préservée, mais confrontée à une surexploitation du bois et à l'ensablement progressif des chenaux d'eau.

La Route des Esclaves ''Klouvidonnou'', reliant Agoué (Grand-Popo, Bénin) à Klouvidonnou (Aklakou, Togo), est un vestige méconnu de la traite négrière qui serpente à travers les mangroves. Autrefois empruntée pour acheminer discrètement les captifs vers les navires négriers, cette voie fluviale porte encore les traces d'un passé douloureux. Aujourd'hui, elle fait face à de multiples menaces, notamment la dégradation des écosystèmes et le manque de mise en valeur patrimoniale. Malgré son potentiel historique et écologique, elle demeure largement ignorée du grand public selon Innocent SILVEY, un guide de tourisme. Il plaide pour une reconnaissance officielle et une intégration dans les circuits touristiques et mémoriels, soulignant l'importance de la coopération transfrontalière pour assurer sa préservation et sa transmission aux générations futures. Les forêts d'Athiémé telles que Anaglanou et les arbres sacrés comme Ahoagalokoe d'Afangnan jouent un rôle écologique clé en régulant le climat local. Cependant, la coupe abusive des arbres pour la production de charbon de bois met en péril cet équilibre naturel.

De plus à Athiémé, les fondateurs de cette ville ont initié une cérémonie de pêche collective pour lancer la saison de pêche.

Ces différents écosystèmes ne sont pas seulement des richesses naturelles, ils sont aussi des piliers du développement local. À Grand-Popo, les pêcheurs dépendent directement des mangroves pour la reproduction des poissons, tandis qu'à Athiémé, les agriculteurs exploitent les plaines inondables du Mono pour la culture du riz et du crin-crin, une activité menacée la variabilité climatique.

Le sud du Bénin et du Togo regorge d'un patrimoine naturel exceptionnel qui pourrait être davantage mis en valeur à travers des initiatives de conservation et de développement durable. En exploitant de manière raisonnée les plages, les lagunes, les mangroves et les zones humides, il est possible d'assurer à la fois la préservation des écosystèmes et le développement économique des communautés locales. L'enjeu réside dans la mise en place de politiques de gestion adaptées, impliquant les acteurs locaux et intégrant les savoirs traditionnels aux efforts de modernisation et de valorisation touristique.

2. Méthodologie de l'étude

Pour mener cette étude sur la valorisation du patrimoine naturel et les défis environnementaux dans les communes de Grand-Popo, Aklakou, Athiémé et Afangnan, une approche méthodologique mixte a été adoptée, combinant analyses documentaires et enquêtes de terrain. Cette démarche vise à croiser les données théoriques issues des recherches existantes avec des observations empiriques recueillies directement auprès des acteurs locaux.

La première phase de l'étude a consisté en une revue de littérature approfondie, afin d'identifier les travaux scientifiques, les rapports institutionnels et les politiques publiques en lien avec la préservation des écosystèmes étudiés. Cette analyse documentaire a permis de cadrer la problématique, d'identifier les tendances observées à l'échelle régionale et de définir les principaux axes d'investigation pour l'enquête de terrain.

Afin de mieux comprendre les réalités vécues par les populations concernées et d'évaluer les impacts concrets des changements environnementaux, des entretiens semi-directifs ont été organisés sur le terrain.

Un échantillon aléatoire de 15 riverains, 3 responsables d'ONG environnementales, 5 guides de tourisme et 3 agents municipaux ont été interrogés. Les objectifs étant d'évaluer l'évolution des ressources, d'identifier les pratiques locales de gestion des mangroves et de recueillir les perceptions de ces acteurs sur l'efficacité des politiques de valorisation de ces ressources naturelles.

Une fois les données collectées, une analyse qualitative et comparative a été réalisée. Les témoignages et résultats des enquêtes ont été croisés avec les données documentaires afin de dégager des tendances générales, identifier des solutions adaptées et formuler des recommandations pertinentes.

En combinant revue documentaire, enquêtes de terrain et analyse comparative, cette étude permet de mieux cerner les enjeux de la valorisation du patrimoine naturel dans les communes étudiées. Elle met en lumière les défis majeurs liés à la destruction des mangroves et à l'érosion des berges du Mono, tout en identifiant des initiatives locales prometteuses et des pistes d'action pour une gestion durable des ressources naturelles.

3. Analyse des enjeux de la valorisation du patrimoine naturel

L'analyse des données recueillies auprès des différents acteurs locaux (habitants, responsables d'ONG, cadres municipaux et guides touristiques) met en lumière une forte connaissance du patrimoine naturel : 85 % des personnes interrogées affirment être familières avec au moins un site dans leur commune. Toutefois, la fréquentation de ces espaces reste contrastée, avec 40 % des répondants déclarant s'y rendre régulièrement, tandis que 60 % les visitent rarement ou jamais. L'importance écologique et culturelle de ces sites est largement reconnue, avec 92 % des participants soulignant leur valeur pour la communauté. Pour mieux les préserver et les promouvoir, plusieurs pistes sont évoquées : la conservation et l'entretien régulier, la sensibilisation à l'environnement et le développement de circuits écotouristiques.

Cependant, plusieurs défis freinent cette valorisation. Le manque d'infrastructures, l'insuffisance des financements et la faible sensibilisation des populations locales sont identifiés comme des obstacles majeurs. Malgré ces difficultés, une grande majorité (80 %) perçoit le potentiel économique du tourisme autour de ces espaces naturels, notamment en matière de création d'emplois et de promotion des traditions locales. Par ailleurs, la dimension transfrontalière est jugée essentielle par 70 % des répondants, qui estiment qu'une collaboration entre le Bénin et le Togo pourrait être bénéfique à travers des initiatives communes de conservation et la mise en place de circuits écotouristiques partagés.

En somme, ces résultats soulignent la nécessité d'une approche globale combinant protection de l'environnement, sensibilisation et développement durable afin d'exploiter pleinement les richesses naturelles et culturelles de la région.

3.1. La dégradation des mangroves : un péril pour l'écosystème et les moyens de subsistance

Les mangroves constituent un rempart naturel essentiel contre l'érosion côtière et un habitat privilégié pour de nombreuses espèces marines. Cependant, leur disparition progressive, notamment dans les zones de Grand-Popo (Bénin) et Aklakou (Togo), menace non seulement l'équilibre écologique, mais aussi la sécurité alimentaire des populations riveraines. A ce sujet Gabin Lokossou, un pêcheur de Grand-Popo alerte sur les conséquences de cette situation :"Avant, les mangroves étaient pleines de vie, nous y trouvions facilement des crabes et des poissons. Aujourd'hui, avec la coupe massive des arbres, il devient difficile de subvenir à nos besoins." Face à cette situation, il devient urgent de sensibiliser les populations et de proposer des alternatives durables pour réduire la pression sur ces écosystèmes.

3.2. L'érosion et l'ensablement du fleuve Mono : une menace pour l'agriculture et l'écotourisme

Le fleuve Mono, qui traverse le Bénin et le Togo, est victime de l'ensablement progressif et de l'érosion de ses berges, mettant en péril les terres agricoles, les habitats des riverains et par conséquent, l'écotourisme. Dans des localités comme Athiémé (Bénin) et Afangnan (Togo), ces phénomènes entraînent une réduction de la fertilité des sols et compromettent la sécurité alimentaire.

3.3. L'absence d'alternatives économiques durables

L'exploitation excessive des ressources naturelles résulte souvent d'un manque de solutions économiques viables. Faute d'opportunités, les populations locales se tournent vers des pratiques destructrices telles que la déforestation, la surpêche ou encore l'agriculture intensive. Comme l'a souligné le directeur exécutif du Groupement Intercommunal du Mono (GI-Mono) Romain Adjagba, "l'écotourisme pourrait être une alternative intéressante, mais les financements manquent. Pourtant, en développant des circuits touristiques autour des mangroves et du fleuve Mono, ou simplement dans la réserve biosphère, on pourrait non seulement créer des emplois, mais aussi préserver l'environnement." Pour assurer une gestion durable du patrimoine naturel du sud Bénin-Togo, une action collective impliquant les autorités locales, les acteurs de la conservation et les communautés riveraines est essentielle. La restauration des mangroves, la lutte contre l'érosion et la promotion d'alternatives économiques viables sont autant de leviers qui pourraient contribuer à protéger ces écosystèmes uniques tout en améliorant les conditions de vie des populations locales.

4. Impact socio-économique de la valorisation du patrimoine naturel

La préservation et la valorisation du patrimoine naturel ne se limitent pas à des enjeux environnementaux. Elles représentent également une opportunité économique majeure pour les populations locales. Dans les quatre communes, des initiatives émergent, démontrant qu'une gestion durable des écosystèmes peut générer des revenus et améliorer les conditions de vie des habitants.

Dans le cadre de la désignation du chenal Gbaga comme site Ramsar transfrontalier, des actions visant à informer, sensibiliser, et éduquer les populations riveraines sur la nécessité d'une gestion durable de leur écosystème ont été menées (Ouatara, 2015)

Nichée à l'embouchure du fleuve Mono, la Bouche du Roy constitue un site naturel d'une richesse exceptionnelle, où l'eau douce du fleuve se mêle à l'océan Atlantique. Son écosystème unique attire de nombreux visiteurs, des amoureux de la nature aux chercheurs en passant par les touristes curieux de découvrir ce lieu emblématique. Un guide local partage son expérience : « Avant, nous avions seulement quelques visiteurs occasionnels. Aujourd'hui, avec les circuits

d'écotourisme, nous accueillons des groupes régulièrement. Cela nous permet de mieux mettre en avant notre culture et de gagner notre vie. »

Selon le Plan National du Tourisme au Bénin (2013-2025), un secteur écotouristique bien structuré pourrait contribuer jusqu'à 15 % du PIB des communes côtières, en créant des emplois directs et indirects : guides touristiques, artisans, restaurateurs, mais aussi pêcheurs et agriculteurs qui approvisionnent les hôtels et les restaurants locaux. Toutefois, cet essor est encore freiné par un manque criant d'infrastructures adaptées. Il faudra désormais des hébergements écoresponsables et une meilleure organisation pour prolonger la durée des séjours des touristes.

Les expériences menées à Grand-Popo, Aklakou, Athiémé et Afangnan montrent que la préservation du patrimoine naturel peut être un moteur de développement socio-économique. L'écotourisme, la reforestation et la stabilisation des sols ne sont pas seulement des solutions environnementales : elles participent à l'amélioration des conditions de vie des populations locales et constituent un vecteur de transfert de connaissances, de bonnes pratiques et offre des opportunités d'emploi aux jeunes (Djossou, 2024)

Toutefois, pour garantir une pérennité à ces initiatives, il est essentiel d'accompagner ces actions par des politiques publiques adaptées, un accès facilité aux financements et une coopération transfrontalière renforcée entre le Bénin et le Togo. Car, malgré ces fonctions multiples, l'aménagement des forêts naturelles, est confronté au manque de données devant permettre la compréhension du fonctionnement de ces écosystème (Adjonou et Al, 2016)

5. Perspectives et recommandations pour une valorisation durable

Pour garantir une valorisation efficace et pérenne des richesses naturelles du sud Bénin-Togo, il est crucial d'adopter une approche concertée, impliquant à la fois les communautés locales, les autorités et les acteurs du développement. Plusieurs stratégies peuvent être mises en place pour allier préservation de l'environnement et développement économique.

5.1. Impliquer activement les communautés locales dans le reboisement des mangroves

Les mangroves de Grand-Popo et d'Aklakou jouent un rôle essentiel dans la protection des côtes et la régénération des ressources halieutiques. Pourtant, leur destruction continue sous l'effet de l'exploitation du bois et de l'expansion urbaine. Pour y remédier, il est essentiel de renforcer les initiatives de reboisement en impliquant directement les populations locales, notamment les jeunes et les pêcheurs. Un jeune engagé dans un projet de reforestation à Aklakou témoigne : « Avant, je voyais ces arbres comme une simple ressource. Maintenant, je comprends qu'ils protègent nos terres et garantissent l'avenir de notre pêche. Replanter des palétuviers, c'est aussi protéger notre gagne-pain. » Et à en croire l'Adjoint au maire de Lacs 2, Folly Ambroise Ekoue-Bla, des intentions sont en cours pour la valorisation du tunnel sous les mangroves ayant servi pour la déportation des esclaves.

À Grand-Popo, l'ONG Eco-Bénin mène des campagnes de sensibilisation et propose des formations sur la gestion durable des mangroves. Ainsi, combiner reboisement et incitations économiques, comme la vente de jeunes plants, permet de motiver davantage les populations à protéger cet écosystème fragile.

5.2. Encourager des alternatives économiques durables

L'exploitation intensive des ressources naturelles est souvent une conséquence directe de l'absence de sources de revenus alternatives. Pour réduire cette pression, il est crucial de promouvoir des activités économiques durables et respectueuses de l'environnement, telles que l'écotourisme et l'aquaculture responsable.

Dans la région de Grand-Popo, l'essor des circuits écotouristiques autour de la Bouche du Roy constitue une opportunité à exploiter. Les visiteurs, attirés par la richesse de la faune et la beauté du paysage, génèrent des revenus pour les guides locaux et les artisans. Tous les guides de tourisme interrogés ont reconnu que depuis qu'ils proposent des balades en pirogue, ils ont non seulement une source de revenus, mais aussi une raison supplémentaire de préserver l'environnement.

5.3. Renforcer la coopération transfrontalière

Les écosystèmes du sud Bénin et du Togo s'étendent au-delà des frontières administratives. Une gestion efficace des mangroves, du fleuve Mono et des zones côtières nécessite une coordination renforcée entre les autorités béninoises et togolaises.

Bien que des initiatives de regroupement existent, comme l'Organe des Collectivités Transfrontalières du Sud Bénin-Togo (OCT–SBT), leur impact reste limité en raison du manque de collaboration entre les acteurs locaux des deux pays.

La préservation des écosystèmes du sud Bénin-Togo ne peut être efficace que si elle repose sur une approche intégrée et participative, impliquant l'ensemble des parties prenantes.

Si ces recommandations sont mises en œuvre de manière cohérente et coordonnée, le patrimoine naturel du sud Bénin-Togo pourrait devenir un levier de développement durable, alliant protection de l'environnement et amélioration des conditions de vie des populations locales.

Conclusion

La valorisation du patrimoine naturel des communes du sud Bénin-Togo est un levier essentiel pour la préservation de l'environnement et le développement économique local. Des actions concrètes, comme la protection des mangroves à Grand-Popo et Aklakou ou la stabilisation des berges du Mono à Athiémé et Afangnan, montrent que des solutions adaptées aux réalités locales peuvent être mises en place. Pour garantir la durabilité de ces initiatives, une approche participative impliquant l'ensemble des acteurs locaux, nationaux et transfrontaliers est indispensable.

Bibliographie

Adjonou K., Radji AR, Kokutse AD et Kokou K, 2016, *Considération des caractéristiques structurales comme indicateurs écologiques d'aménagement forestier au Togo (Afrique de l'Ouest)*, VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement, journals.openedition.org

Djossou M. M. E.,2024, *Développement du tourisme durable en Afrique : cas de la ville de Porto-Novo (Bénin).* hal-04531493

Juhe-Beaulaton Dominique (dir.), 2010, *Forêts sacrées et sanctuaires boisés. Des créations culturelles et biologiques (Burkina Faso, Togo, Bénin),* Paris, Karthala, 280 p.

Ouatara Aboubakar, 2015, *Démarche pour la Désignation de Sites Ramsar Transfrontaliers en Afrique de l'ouest : cas du Chenal de Gbaga (Bénin/Togo),* mémoire, université senghor

Politique Nationale du Tourisme du Bénin 2012-2025,

https://tourisme.gouv.bj/storage/media/publications/PUB_60c204abd0baf60c204abd0bb0.pdf, consulté le 10 février 2025

EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE PATRIMOINE CULTUREL DU LITTORAL BENINOIS : CAS DE LA COMMUNE DE GRAND-POPO

Mèmèdé Angèle BOKO-HAYA[1], Didier N'DAH[2], Wilfrid Expédit VISSIN[3]

[1] Département d'Histoire et d'Archéologie / Université d'Abomey-Calavi (Bénin) angehaya1@gmail.com; BP : 2034 Abomey-Calavi Rép. Bénin. Tél : 97 05 47 10.

[2] Directeur du Laboratoire d'Art, d'Archéologie, des Dynamiques Culturelles et d'Expertise Patrimoniale et Touristique (LACEPT), Maître de conférences des Universités du CAMES du Bénin, n'dahdidier@yahoo.fr, 97 72 24 10.

[3] Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Professeur titulaire des Universités du CAMES (Abomey-Calavi, Bénin), 97980285, exlaure@gmail.com.

Résumé : *Le littoral est particulièrement vulnérable aux effets des changements climatiques qui affectent le globe terrestre. Cet article vise à appréhender les effets des changements climatiques sur le patrimoine culturel du littoral béninois, plus précisément dans la commune de Grand-Popo. La démarche méthodologique est focalisée sur l'observation, les interviews auprès des personnes ressources et l'analyse de l'évolution des données pluviométriques. Les résultats montrent que les changements climatiques perturbent considérablement les activités touristiques et affectent le patrimoine culturel de la commune de Grand-Popo et qu'il convient de développer des stratégies d'adaptation pour maintenir le patrimoine culturel de la commune et mieux le valoriser.*

Mots clés *: Changement climatique, Patrimoine culturel, stratégie d'adaptation*

Abstract : Effects of climate change on the cultural heritage of the Beninese coast : the case of the commune of Grand-Popo. *The coastline is particularly vulnerable to the effects of climate change affecting the globe. This article aims to understand the physical aspects of the vulnerability of the Municipality of Grand-Popo, a coastal area exposed to climate change, and its effects on cultural heritage. The study of the factors influencing ecosystem dynamics in the Municipality of Grand-Popo was conducted using remote sensing data, GIS tools, and field surveys. The results show that both natural and human factors explain the damage caused to the balance of ecosystems in this Municipality. The various natural factors identified are littoral drift, wind and precipitation actions, temperature changes, and sea level variations. Anthropogenic factors relate to the population and its activities.*

Keywords*: Effect, Climate Change, Cultural Heritage, Beninese Coastline.*

Introduction

Le tourisme côtier est considéré comme particulièrement vulnérable aux impacts des changements climatiques (OMT, 2009 ; Scott *et al.,* 2012) cité par Boko (2014). Les changements climatiques menacent les flux touristiques et certains écosystèmes qui représentent des attraits majeurs pour le tourisme tels que les mangroves et les terres humides. Le capital touristique est considérablement menacé. Les climats ouest africains et béninois sont sujets à de fortes variabilités ou à des changements selon les échelles de temps et d'analyse dont les conséquences restent néfastes pour le développement durable (Agonvi, 2015, P.6). Le même auteur souligne que le littoral béninois est identifié comme présentant une vulnérabilité particulière, une hausse relative du niveau moyen de la mer sous l'effet du réchauffement global.

Selon CEDA (2007) cité par Agonvi (2015), le rythme d'évolution actuelle de la côte béninoise suscite des inquiétudes. En effet, les écosystèmes côtiers sont soumis à de nombreuses perturbations (naturelles et anthropiques) qui entraînent la modification de leur structure et de leur fonctionnement. Entre autres menaces, il convient de citer l'érosion côtière, la régression des écosystèmes forestiers notamment la mangrove en raison de la pression humaine et les diverses pollutions dues aux activités socio-économiques. A ces facteurs s'ajouteront les effets des changements climatiques globaux qui auront probablement des effets incommensurables

sur les traits de rivages, sur tous les êtres qui y vivent et également sur les sites touristiques et patrimoniaux environnants.

1. Situation géographique de l'étude

La Commune de Grand Popo est située entre 1°36' et 1° 58' de longitude Est et 6°10' et 6°28' de latitude Nord. Elle s'étend sur une superficie de 289 km². Les potentialités touristiques de Grand-Popo sont constituées des belles plages, des activités de maraîchage, l'embouchure du fleuve mono (Boca del Rio ou bouche du Roy), sans oublier les mangroves le long de la Lagune de Grand-Popo et les bâtiments coloniaux et afro brésiliens incluant les sites de la traite négrière mélangés au patrimoine culturel immatériel de cette ville côtière incontournable.

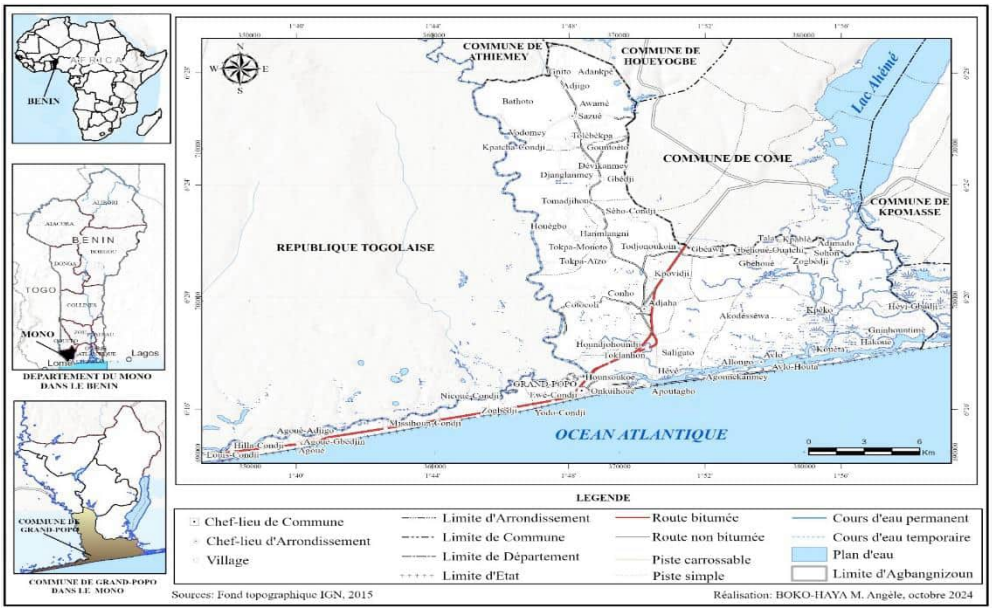


***Figure 1** : Carte de situation de la Commune de Grand-Popo (**Source** : BOKO-HAYA M. Angèle, mars 2023)*

2. Changements climatiques

Les changements climatiques sont devenus une menace grandissante pour le patrimoine culturel de Grand-Popo. Ils aggravent des problèmes naturels qui existaient déjà, rendant la préservation de ce patrimoine encore plus difficile. Par exemple, la montée du niveau de la mer est une véritable épée de Damoclès pour les sites côtiers. Les plages historiques et les points d'embarquement, comme ceux de Hilla-Condji, qui rappellent la traite négrière, sont particulièrement en danger. Avec la mer qui gagne du terrain, ces lieux chargés d'histoire risquent tout simplement de disparaître sous l'eau. Ce serait une perte irréparable, car ils portent en eux des souvenirs essentiels de notre passé. En plus de cela, les phénomènes climatiques extrêmes deviennent de plus en plus fréquents et violents. Les tempêtes, les inondations et les épisodes de sécheresse, amplifiées par les changements climatiques, accélèrent la détérioration des infrastructures patrimoniales.

3. Erosion et dégradation physique

Les changements climatiques représentent une menace croissante pour le patrimoine naturel et culturel, qu'il soit matériel (monuments, sites historiques) ou immatériel (tradition, savoir-faire). L'un des principaux problèmes qui menacent le patrimoine culturel de Grand-Popo est l'érosion. Cette dégradation est causée par un mélange de facteurs naturels et humains et elle touche de nombreux sites dans la région. Avec le temps, ces agressions fragilisent les infrastructures et mettent en péril leur survie à long terme.

D'abord, il y a l'érosion naturelle. Les sites situés près des cours d'eau, des plages ou des zones marécageuses sont particulièrement vulnérables. C'est l'exemple de la première église catholique de Gbècon qui n'a plus de trace aujourd'hui de même que d'autres bâtiments coloniaux qui ont disparu. C'est le cas de l'ancienne poste d'Agoué qui également n'existe plus sous l'effet de l'érosion côtière (Planche 1). Les berges du fleuve Mono et plages historiques comme celles de Hilla-Condji subissent des affaissements progressifs à cause des crues saisonnières, des vagues océaniques et l'action constante de l'eau.

Ensuite, il y a la détérioration des matériaux. Les bâtiments coloniaux, les ponts métalliques et d'autres infrastructures anciennes, même s'ils ont résisté pendant des décennies, montrent aujourd'hui des signes inquiétants de vieillissement. La rouille ronge les métaux, les bois se fissurent, les pierres s'effritent, et le manque d'entretien régulier empire la situation. C'est l'exemple de l'ancienne préfecture de Grand-Popo, du pont de gbéhoué. Le coffre-fort colonial d'Adjaha (Photo 1) abandonné à l'air libre et exposé aux intempéries risque de se détériorer complètement si rien n'est fait pour le protéger. Si rien n'est fait, cet objet aussi chargé d'histoire pourrait perdre toute sa valeur patrimoniale, et avec lui, une partie de l'histoire coloniale de Grand-Popo.

		
AVANT (jusqu'en 2020)	APRES 2020	Actuellement
Ancienne poste coloniale	Ancienne poste coloniale	Ancienne poste coloniale (disparu)
Prise de vue : BAVI Julien, Janvier 2020	**Prise de vue** : BAVI Julien, Janvier 2021	**Prise de vue** : © BOKO-HAYA M., Janvier 2023

***Planche 1** : Effet de l'érosion côtière sur l'ancienne poste coloniale d'Agoué*

Source : BOKO-HAYA M. Angèle, décembre 2024



Photo 1 : Coffre-fort colonial d'Adjaha à Grand-Popo

Prise de vue : © BOKO-HAYA M., Janvier 2023

Le coffre-fort colonial d'Adjaha, un bien matériel d'intérêt patrimonial localisé à 6°32'71.67'' de latitude nord et 1°83'58.31'' de longitude est un objet, fabriqué en fer et de forme cubique avec une ouverture cylindrique. Il servait autrefois à sécuriser les biens des colons pendant la période coloniale et représente une pièce unique du patrimoine historique de la région.



Photo 2: Pont métallique de Toklanhon

Prise de vue : © BOKO-HAYA M., Janvier 2023

Cet ancien pont métallique localisé dans l'arrondissement de Grand-Popo dans le village Toklanhon à 6°30'35.70'' de latitude nord et 1°83'99.02'' de longitude avait été construit dans les années 1955 par les Allemands pour faciliter le trafic et le transport sur le fleuve Mono. Aujourd'hui il est toujours utilisé par les autochtones mais en fonction de son état vétuste, les gros porteurs ne peuvent plus l'emprunter et rien n'est fait pour renforcer les fers qui se rouillent.



Photo 3 : Entrepôt colonial Akpoé-tchanka à Adjaha

Prise de vue : © BOKO-HAYA M., Janvier 2023

L'entrepôt colonial Akpoé-Tchanka, situé dans le village d'Adjaha centre à 6°32'66.88'' de latitude nord et 1°83'61.13'' de longitude est, est un bâtiment emblématique de l'architecture coloniale. Ce site historique rappelle le rôle central qu'il jouait pendant la période coloniale dans le commerce des produits agricoles locaux, notamment l'huile de palme et l'huile de palmiste. Aujourd'hui les matériaux de construction se dégradent comme le montre la photo 3.

4. Perte de la biodiversité

Les mangroves et palétuviers sont connus pour leur rôle de préservation de la biodiversité. En effet, elles abritent une riche biodiversité marine et terrestre, essentielle à la résilience des écosystèmes face aux changements climatiques. Dans la commune de Grand-Popo avec l'encombrement du lac et aussi sous l'effet des actions anthropiques, les mangroves et palétuviers ne jouent plus efficacement ce rôle. Les eaux sont peu profondes et ne facilitent pas

le développement de certaines espèces halieutiques. De même, du fait de cet encombrement les barques ne peuvent facilement circuler afin de permettre la découverte des sites touristiques. C'est l'exemple des villages de Kpeco, azico, owlihoue, avlo, avlo plage, gbeffa.

5. Perturbation des saisons touristiques

Les inondations et les poches de sècheresse fréquentes enregistrées dans la commune de Grand-Popo induisent des changements dans les saisons touristiques et perturbent les fêtes et rituels traditionnels et par ricochet les activités touristiques. Par ailleurs, les routes endommagées et les transports interrompus du fait des inondations dans la commune, rendent les sites touristiques difficilement accessibles, dissuadant la venue des visiteurs.

6. Mesures de prévention et d'adaptation

Trois mesures ont été identifiées :

- La cartographie des zones à risque qui permettra d'identifier les sites vulnérables et prioriser des actions de protection tout en impliquant les communautés.
- La sensibilisation des communautés sur l'importance des patrimoines et les techniques pour leur préservation.
- L'aménagement des sites touristiques et la promotion de l'écotourisme responsable.

Conclusion

La présente recherche fondée sur le patrimoine culturel face aux changements climatiques a permis de connaître les impacts de la variabilité climatique sur le littoral béninois. On assiste à la dégradation du milieu par l'érosion, l'inondation, la crue et l'avancement de l'océan qui, en plus d'un siècle a ravagé des lieux, des bâtiments et autres. La crue est devenue régulière et il n'y a plus de fermeture d'embouchure. Cela crée une raréfaction de l'eau douce. En conséquence il n'y a que de l'eau salée dans les lacs, lagunes et fleuves du milieu dans la majorité du temps.

Cette recherche n'est qu'une ébauche au regard de tout l'aspect qu'aborde la vulnérabilité du littoral béninois. Les élus locaux doivent prendre le patrimoine de leurs localités en charge pour mieux le valoriser. Ils doivent faire établir des cartes de sensibilité du littoral à l'érosion côtière de la zone; étudier la redistribution des sédiments le long de la côte et déterminer les taux d'érosion de la côte par segment en vue de mieux maîtriser l'ampleur du phénomène pour mieux l'affronter.

Remerciement :Une reconnaissance aux guides Julien Bavi et Pascal BATA pour leur aide durant les travaux de terrain et reconnaissance à l'équipe de AIC pour la valorisation des travaux scientifiques.

Bibliographie

Agonvi A. 2015 : Aspects biophysiques de la vulnérabilité de la zone côtière béninoise face aux changements climatiques : secteur Grand-Popo-Ouidah.

Boko M., 2014 : Bioclimats humains et tourisme dans l'espace côtier du Bénin (Afrique de l'ouest), 255 pages.

K. M. Egbetowokpo, 2015 : "Facteurs de la dynamique des écosystèmes marins et côtiers dans la commune de Grand-Popo au Bénin"

MAEP, 2022 : Sous – Projet- de construction d'un point de débarquement d'un aménagé (PDA) à Ayiguinnou dans la commune de Grand-Popo (Lot 2A)

VERS UNE COMPETITIVITE ORGANISATIONNELLE DE L'ATTRACTIVITE TOURISTIQUE DANS LA COMMUNE RURALE DE MANOMPANA, DISTRICT DE SOANIERANA IVONGO, NORD-EST DE MADAGASCAR

Raharisoa Stélina DEDY [1], Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY [2] et Lucien RAMIANDRISOA [3]

1. Ecole de Tourisme, Université de Mahajanga, Madagascar ; Contact : +261322860534 / +261345990989 ; E-mail : dedyraharisoa@gmail.com

2. Faculté de Sciences, de Technologies et de l'Environnement (FSTE), Ecole doctorale « Ecosystèmes Naturels » (EDEN), Université de Mahajanga, Madagascar ; Contact : +261322117675 ; E-mail : ttjorlin@yahoo.fr

3. Ecole de Tourisme, Université de Mahajanga, Madagascar ; Contact : +261320359151 ; E-mail : lucien_ramiandrisoa@yahoo.com

Résumé : Cette étude est réalisée dans la partie nord-est de Madagascar, restant ignorée, inexploitée et privée de tout projet de développement touristique pour des raisons d'accès surtout conditionnées par son climat relativement humide pendant presque toute l'année. Sur cette zone, ses forts avantages comparatifs ne contribuent à son essor économique. Notre projet tend vers la compétitivité organisationnelle de l'attractivité touristique de cette zone. Pour pouvoir imposer la destination avec ses produits et service indépendamment de leurs prix et affronter la concurrence avec des chances de succès. Pour mettre en œuvre notre sujet, la compréhension de ses handicaps touristiques, l'analyse des données climatiques, l'inventaire de ses attractivités ont été réalisés avec une documentation, travaux de terrain, enquête et interview comme démarches méthodologiques.

Mots-clés : Climat, tourisme, concurrence, Manompana

Abstract: This study is conducted in the northeastern part of Madagascar, remaining ignored, unexploited, and deprived of any tourism development project for reasons of access, mainly conditioned by its relatively humid climate for almost the entire year. In this area, its strong comparative advantages do not contribute to its economic growth. Our project tends towards the organizational competitiveness of the tourist attractiveness of this area to be able to impose the destination with its products and services regardless of their prices and face the competition with chances of success. To complete our subject, the understanding of its tourist handicaps, the analysis of climatic data, the inventory of its attractiveness was carried out with documentation, fieldwork, survey and interview as methodological approaches.

Keywords : Climate, tourism, competition, Manompana

Introduction

Le développement du tourisme est étroitement lié à l'attractivité et à la compétitivité des destinations, tandis que le climat joue un rôle très important dans l'attractivité des destinations. Il n'est donc pas étonnant que les thèmes sur le climat et la compétitivité touristique suscitent de nos jours un grand intérêt et prédomine dans la discussion sur l'aptitude des entreprises et des pays à soutenir la concurrence sur un marché mondial de plus en plus intégrer. Le secteur du tourisme et les entreprises qui en dépendent n'échappent pas à ce débat, d'autant que cette activité est exposée à une forte concurrence mondiale et à des aléas conjoncturels et naturels.

En tant que produit d'exportation, le tourisme se place selon la CNUCED (2010) au quatrième rang après les combustibles, les produits chimiques et l'automobile. Les bénéfices économiques potentiels issus du tourisme international sont de plus en plus importants et se caractérise de nos jours par la présence sur ce marché, d'un nombre de plus en plus élevé de destinations touristiques et par l'existence d'un nombre limité de pays émetteurs de touristes (journals.openedition.org). Et aujourd'hui, à l'ère de la mondialisation, les territoires sont mis en concurrence et leur image de marque, leur réputation, ont des impacts significatifs sur leur attractivité à bien des niveaux : touristique, artistiques, en termes d'infrastructures ou d'investissements.

Dans notre zone d'étude, la Commune de Manompana, avec tant de ressources resserrant les liens terre-mer et nature-culture, sa compétitivité est toujours à renforcer. Face à la montée de la concurrence, avec l'île Sainte Marie en face et Maroantsetra au nord, qui sont les deux pôles touristiques de la côte Nord-Est malgache ; est née un besoin exprimé de renforcer l'attractivité et la compétitivité de cette zone à grandes potentialités touristiques. Sur ceux, le sujet de notre projet tend « vers une compétitivité organisationnelle de l'attractivité touristique dans la Commune rurale de Manompana, district de Soanierana Ivongo, Nord-Est de Madagascar ».

Voulant comprendre les handicaps touristiques et étudier les attraits touristiques de la Commune rurale de Manompana, la problématique de cette recherche repose sur le lien entre les avantages comparatifs et compétitifs de cette zone face à sa situation climatique dont : « Comment orienter les attractivités touristiques de la Commune rurale de Manompana vers une compétitivité organisationnelle vis-à-vis de son climat ? »

L'objectif global de l'étude est donc de permettre à la destination touristique de Manompana à avoir la capacité à affronter la concurrence avec des chances de succès. De cet objectif global sont issus les objectifs spécifiques qui cherchent à s'affranchir de la saisonnalité et assurer une fréquentation pérenne toute l'année, à asseoir une valeur économique aux patrimoines du village, à inciter la population locale à préserver durablement ses richesses et surtout à répondre aux exigences internationales pour une destination touristique rurale.

1. Données et méthodes

1.1. Cadre administrative et géographique de la zone d'étude

A l'échelle régionale, la Commune rurale de Manompana se trouve dans la Région Analanjirofo, District de Soanierana/Ivongo. Ladite commune se trouve à une distance de 40 km au nord de Soanierana/Ivongo, 200Km de la ville de Toamasina suivant la RN5 et à 565km d'Antananarivo (capitale de Madagascar).

A l'échelle territoriale, située sur plusieurs kilomètres de plage de la côte orientale malgache la Commune de Manompana est délimitée par les coordonnées géographiques 16°40'60'' latitude Sud et 49°43'60'' longitude Est.

Sur le plan administratif, la Commune de Manompana est délimitée au Sud par la Commune rurale d'Antanifotsy, au Nord par le Fokontany d'Anove-Nord, à l'Ouest par la Commune rurale d'Ambahoabe et à l'Est par l'Océan Indien. Il est composé par sept villages ou fokontany (Monographie de la CR Manompana, 2022).

1.2. Conditions et interprétation climatique de la zone d'étude

Concernant le diagramme climatique, le climat de la Commune de Manompana est de type tropical chaud et humide, caractéristique de la côte orientale malgache. Sur l'année, la température moyenne ne varie pas beaucoup ; elle se situe autour de 25°c. Au mois de janvier, la température moyenne est de 27,6°c ; janvier est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Juillet est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 22,9°c. Le record de la température maximale est de 48°c, enregistrée le samedi 12 mars 1988 tandis qu'une minimale de 6°c est enregistrée le jeudi 22 juin 1978 (www.meteocity.com).

Par sa position naturelle, exposée à l'influence de l'Alizé du Sud Est de l'Océan Indien, la Commune rurale de Manompana est sujette à une forte pluviométrie presque toute l'année dont on compte généralement une précipitation moyenne annuelle de 2350mm. La pluie tombe tout au long de l'année, le maximum de précipitation est de 341,5mm enregistré au mois de Mars et un minimum de 67,7 mm en octobre (RAKOTO, 2014).

1.3.Evaluation de l'accessibilité de la zone d'intervention

Pour une question d'accès, deux voies sont possibles pour gagner la Commune rurale de Manompana dont la voie terrestre et maritime. Pour la voie terrestre, nous pouvons y accéder par la route nationale n°5 qui relie Toamasina de Maroantsetra. Et pour la voie maritime, le Fokontany de Manompana est accessible toute l'année sauf en cas de tempête ou de cyclone. Compte tenu de son climat, la saison idéale pour visiter Manompana se trouve entre septembre et novembre, mais également, il est favorable d'y aller en août et une visite envisageable de mai, juin, juillet et décembre. Il est par contre déconseillé de s'y rendre entre janvier et avril pour une visite touristique.

2. Résultats et Discussion

2.1 Caractérisation des attractivités touristique de la destination Manompana, Madagascar

- Potentialité de la zone terrestre

S'étendant sur une surface de 38 695 ha, outre sa belle position géographique, la Commune de Manompana comprend des vastes milieux naturels forestiers dont la forêt pluviale de basse altitude sur gneiss de 12 956 ha, la forêt pluviale de basse altitude sur basalte de 197 ha, la forêt littorale sur sable de 2 462 ha et la forêt de mangrove de 97 ha (projet MAMIA, 2009). Les forêts de Manompana présentent une grande diversité d'espèces de lémuriens. En effet, neuf espèces ont été recensées à Manompana dont *Avahi laniger, Cheirogaleus major, Daubentonia madagascariensis, Eulemur fulvus, Eulemur rubriventer, Hapalemur griseus, Indri indri, Microcebus rufus et Varecia variegata*, ce qui est largement équivalent à la diversité de lémuriens recensées dans le plus vaste massif forestier protégé de Madagascar. La communauté de lémuriens des forêts de Manompana possède une très grande valeur patrimoniale, car quatre des espèces présentes sont considérées comme menacées par l'UICN. Outre les lémuriens, sur l'ensemble des milieux forestiers de Manompana, a été recensée une richesse spécifique de 101 espèces d'oiseaux, pas moins de 43 espèces d'amphibiens dont 9 espèces sont à ce jour en cours de description et concernant les reptiles, 4 espèces de caméléons, 7 espèces de serpent, 17 espèces de lézard soit un total de 28 espèces (projet MAMIA, 2009).

- Valeur touristique inestimable dans les zones côtières et marines

Constitués par des récifs coralliens, zones d'herbiers et forêts de mangroves, la Commune rurale de Manompana présente un inestimable milieu marin propice au développement écotouristique. Constitué par 7 sur les 8 espèces de palétuvier présent à Madagascar (à part le *Ceriops tagal*), longeant sur son littoral, la Commune de Manompana constitue un refuge pour diverses faunes marines (fruits de mer et oiseaux aquatiques) qui habitent ses forêts de mangrove et offre ainsi des beaux spectacles favorables pour un circuit mangrove. De type estuarienne et lagunaire, nous pouvons profiter de cet écosystème soit par balade en pirogue suivant les fleuves ou la mer, soit par une plongée sous-marine au cœur de la baie dont la sécurité est plus que rassurante.

Concernant ces zones d'herbiers, la ZEE de la Commune rurale de Manompana est constituée à 80% environ par des herbes marines (résultats de recherche) du fait de ses caractéristiques peu profondes, lumineuses et calme (conditionnée par l'existence de l'île Sainte Marie longeant en face comme barrière vis-à-vis de l'océan), qui sont des conditions favorables à leur développement. Ainsi, il offre un paysage sous-marin magnifique pouvant être admiré même en apnée ou plongée en surface. Et pour les récifs coralliens, Manompana présente du récif frangeant du côté océanique et du récif barrière juste à la sortie de la baie de Tintingue.

- Valeur culturelle spécifiée au village de Manompana

Peuplé dans sa majeure partie par les Betsimisaraka mais cosmopolite par la présence de tant d'autres ethnies de Madagascar, le Fokontany de Manompana, outre ses régimes traditionnels uniques et ses patrimoines historiques ; présente une diversité culturelle allant des originales à des autres introduites dont : Le *hasin-tany*, le *Joro,* le *Tsaboraha*, et le *Savika*.

2.2 Potentiels barrières pour le développement touristique à Manompana

- Barrières d'ordre climatique et naturel

Par sa position géographique, la Commune rurale de Manompana est une zone soumise aux cyclones tropicaux. Chaque année, allant du mois de janvier au mois d'avril, à Manompana, non seulement ces quatre mois sont défavorables à toute activité touristique, mais aussi, les établissements touristiques doivent endurer ces tempêtes imprévisibles et dévastatrices au moins une fois par an. Avec des bungalows dont les matériaux de construction sont pour la plupart des « Falafa », « Ravinala » et bois, lors d'un cyclone intense, les vents détruisent la quasi-totalité des bungalows (toits et murs) et souvent, les dépenses des réhabilitations surpassent les bénéfices annuels. Et c'est une situation très décourageante pour les acteurs.

Outre les cyclones fréquents, sa forte pluviométrie est également l'un des problèmes d'ordre naturel et climatique qui freinent le développement touristique à Manompana. Présentant une station balnéaire plus qu'attirante, les opérateurs touristiques ont du mal à exploiter cette opportunité à cause du climat caractéristique de la région nord-est Madagascar. Avec 11 mois sur 12 de saison de pluie (presque toute l'année), seul le mois de novembre est adapté à 90% pour ce type de tourisme. Pour les onze mois restants, il peut pleuvoir à tout moment et du coup, il est fort probable qu'un séjour balnéaire organisé soit voué à l'échec. De plus, la pluie fréquente sur la région entraine un vieillissement accéléré des infrastructures touristiques.

- Problèmes d'ordre administratif

Comme le cas de tout Madagascar, la principale barrière freinant le développement touristique est avant tout l'état de l'infrastructure de base. En ce qui concerne notre zone d'étude, la Commune rurale de Manompana, nul n'est sans savoir de la médiocrité de la route nationale n°5 surnommée même « la route de l'impossible » qui traverse la commune (en aménagement depuis le début de l'année 2022 mais n'est toujours pas menée à terme). Outre l'état des infrastructures routières, la non-assistance administrative figure également parmi les obstacles au développement touristique à Manompana ; ce qui laisse les investisseurs touristiques dans l'ignorance et par conséquence, la dénormalisation. Plus précisément, les investisseurs touristiques se lancent dans leurs activités sans consulter les représentants du ministère du tourisme au niveau régional (Direction Régionale du Tourisme) comme il se doit. Pire, certains d'entre eux ne déclarent leurs activités au niveau local que par peur lors des inspections par des contrôleurs de la contribution et ainsi, restent toujours dans la dénormalisation, conduisant à ce que leurs entreprises ne génèrent quasiment aucun profit pour l'économie publique.

Administrativement faisant partie de la capitale économique de Madagascar (province de Toamasina), Manompana présente de nombreuses ressources économiques comme la plupart de la région orientale malgache. De ce fait, presque tous les efforts, les projets administratifs et les investissements locaux sont concentrés sur les produits d'exportations, le secteur agricole et l'activité de pêche. Par conséquence, le tourisme ne génère que 25% des actions de promotion pour un essor économique (R.S. DEDY, 2023). L'essor touristique ne figure presque jamais dans les projets de développement des maires jusqu'à présent. Et même s'il y figure, les projets ne sont jamais menés à leur terme. Tous les projets de valorisation touristique sont dirigés par des étrangers qui savent reconnaître la valeur de sa biodiversité mais avec une mauvaise gestion

et une forte dominance de compétitivité des prix. La gestion de la forêt d'Ambodiriana par une réunionnaise « Chantal MISANDEAU », en est une illustration

- Barrières d'ordre culturel

L'une des sérieuses barrières d'ordre culturel qui freine le développement touristique à Manompana est la mauvaise réputation des étrangers aux yeux de la population villageoise. Dans la Commune rurale de Manompana, les étrangers reflètent aux yeux de certaines populations villageoises, surtout les personnes âgées, l'image des trafiquants d'humains ou des organes humaines. Cette histoire de réputation est due au fait que les premiers occupants du village y vivaient sous l'emprise des pirates qui aimait parquer dans la baie de Tintingue pour s'approvisionner en vivre mais également pour trafiquer des esclaves. Et puis encore est arrivée la colonisation, qui a laissé des lourds et mauvais souvenirs dans les pensées des ainés.

2.3 Suggestions stratégiques majeures destinées à améliorer l'avantage compétitif du tourisme dans la Commune rurale de Manompana face à son climat

Pour améliorer l'avantage compétitif de la Commune rurale de Manompana du point de vue touristique, voici quelques points importants à prendre en considération :

- Exploiter le climat pour l'attrait touristique et le tourisme pour l'action climatique
- Mise en place d'une bonne stratégie marketing : ciblage et segmentation spécialisés,
- Analyse de concurrence et compréhension des attentes clients,
- Marketing d'influence et transformation numérique de la destination,
- Valorisation de la culture et spécificité locales,
- Renforcement de la sécurité et planification du tourisme à long terme,
- Démarche partenariale public-privé à renforcer.
- Et surtout, définition de circuits touristiques variés à thèmes, qui respectent la taille de la commune.

Et en ce qui concerne les circuits touristiques, rien que dans le Fokontany de Manompana (chef-lieu de la commune), nous avons pu proposer trois grands circuits afin de se positionner plus fortement sur les éléments touristiques locaux, d'innover dans les approches sur l'offre (tant sur le contenu que sur les montages) et pour se différencier des concurrences. Parmi ces trois circuits touristiques, nous avons le circuit « tour du village » ciblant les bateaux de croisières (car constitué par un rare port naturel « la baie de Tintingue », le Fokontany doit concevoir des circuits et offres adaptés pour inciter les bateaux de croisière qui fréquentent souvent l'île Sainte Marie d'en face à venir) ; et le circuit « grande aventure » qui s'agit de valoriser sa zone humide à accès très difficile, perçus depuis toujours comme obstacle au développement touristique, pour se différencier et donner la vie à Manompana durant la saison hivernale.

Conclusion

Cette initiative de projet pourrait apporter un grand développement dans la Commune rurale de Manompana car non seulement il est bénéfique pour les établissements touristiques en pouvant bien se positionner face à la concurrence, mais aussi, c'est une solution alternative dans la perspective d'une gestion durable de ses ressources naturelle et culturelle ; et donc par la suite, favorisera un essor économique pour la commune entière voire la Région Analanjirofo.

Alors, même s'il est souvent constaté que l'hyper attractivité agit négativement sur la qualité de vie, notamment, une attractivité mal maitrisée qui peut provoquer de l'exclusion sociale, de la pollution et de la détérioration du cadre de vie ; avec une orientation vers une compétitivité organisationnelle de ladite attractivité, elle doit produire de l'excellence et des avantages sur la qualité de vie. En prenant en compte les deux paramètres essentiels : compétitivité et durabilité, le succès d'une destination est assuré.

Remerciements

Ces quelques lignes sont l'occasion pour nous de remercier sincèrement tous ceux qui ont contribué à la réalisation et exécution de cette recherche par leur aide précieuse, leur complicité et leur participation à cette réalisation. Ainsi, nous adressons nos plus bienveillants remerciements et reconnaissances à l'Association Internationale de Climatologie ainsi que les membres du comité d'organisation du colloque à Benin, pour l'opportunité et la confiance accordée en acceptant le résumé et l'article soumis dans le cadre du 38ème colloque de l'AIC 2025. Veuillez trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

Bibliographie et webographie

Commune Rurale de Manompana, 2022 – « Monographie de Commune Rurale de Manompana version 2022 », **10 pages**.

RAKOTO Percy Yvon, 2014 – « Dynamique du paysage dans le Kolo Ala Manompana : entre interventions des acteurs et contraintes topographiques » (Ecole supérieure des sciences agronomiques, département des eaux et forêts – Université d'Antananarivo), **91 pages**.

Projet MAMIA, 2009 (Manompana mikajy ny ala) – « Etude, gestion et conservation des forêts de Manompana. Actions, bilan et perspectives », **40 pages**.

Conditions physiques de Manompana, Madagascar [en ligne]. Disponible sur : www.meteocity.com. Consulté le 09 novembre 2022.

Définition, concept et application du mot compétitivité [en ligne]. Disponible sur : journals.openedition.org. Consulté le 22 novembre 2022.

TECHNIQUES DE PRODUCTION ET DE VALORISATION DES GRILLONS DANS L'ALIMENTATION HUMAINE

Racilia S.E. GANTA[1], Fubbi R.S. GBAGUIDI[1], Finagnon T.K. FASSINOU[1], Marc SOHOUNNON[2], Expédit W. VISSIN[2], Stéphanie CRABECK[3], Matthias GOSSELIN[3], & Aimé H. BOKONON-GANTA[1]

[1] Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Entomologie Agricole (LEAg), BP [raciliag94@gmail.com, gbaguidirosny@gmail.com, aimehbg2@gmail.com]

[2] Agence de Tourisme et d'Application (ATA), Faculté des Sciences Humaines et Sociales (FASHS/UAC), BP 2899 Abomey-Calavi, Bénin

[3] Haute Ecole Condorcet, Lab réseau ULYSSE, Laboratoire d'Entomologie, [stephanie.crabeck@condorcet.be, matthias.gosselin@condorcet.be]

Résumé : *L'élevage des insectes comestibles, notamment des grillons présente de nombreux avantages sur les plans nutritionnels, économiques et environnementaux. Ils constituent une alternative durable aux protéines animales classiques. Au Bénin, le Laboratoire d'Entomologie Agricole (LEAg) de l'Université d'Abomey-Calavi élève quatre espèces : Gryllus bimaculatus, Gryllodes sigillatus, Acheta domesticus et Scapsipedus sp. Leur production, peu coûteuse en espace et en énergie, répond aux défis de la sécurité alimentaire. Les infrastructures d'élevage sont simples et standardisées. Environ 40 000 grillons sont produits chaque semaine. L'hygiène est essentielle pour garantir leur qualité. Le LEAg expérimente également l'élevage de Brachytrupes membranaceus. Des efforts sont en cours pour valoriser ces insectes via la transformation alimentaire.*

Mots-clés *: Elevage, sécurité alimentaire, insectes comestibles, grillons.*

Abstract*: Production and Valoriation Techniques of Crickets in Human Nutrition. The farming of edible insects, particularly crickets, offers significant nutritional, economic, and environmental benefits. They serve as a sustainable alternative to conventional animal proteins. In Benin, the Agricultural Entomology Laboratory (LEAg) of the University of Abomey-Calavi breeds four cricket species: Gryllus bimaculatus, Gryllodes sigillatus, Acheta domesticus, and Scapsipedus sp. Their low-resource production addresses food security challenges. Rearing infrastructures are simple and standardized, enabling the production of about 40,000 crickets weekly. Hygiene is essential to ensure product quality. LEAg is also experimenting with Brachytrupes membranaceus and developing processing techniques to promote cricket-based food products.*

Keywords*: Insect farming, food security, edible insects, crickets.*

Introduction

L'entomophagie est une pratique ancienne qui nécessite d'être soulevée du fait de ses multiples bienfaits (Van Huis *et al.,* 2013 ; Rumpold & Schlüter, 2013). Au Bénin, les insectes comestibles sont connus et consommés dans certaines régions (Fassinou *et al.,* 2024). Les insectes comestibles dont les grillons sont très riches en protéines, minéraux et acides aminés essentiels à l'organisme humain (Van Huis *et al.,* 2013). De plus, leur production est beaucoup plus simple que celle des sources de protéines traditionnelles (Oonincx et Boer, 2012). Il faut alors en prendre conscience pour faire face à la raréfaction des ressources alimentaires et à l'augmentation de la population mondiale.

L'entomophagie vient régler aussi quelques problèmes tels que la demande sans cesse croissante en protéines, la lutte contre la déforestation, la réduction de la production des gaz à effet de serre et la réduction de l'excessive consommation d'eau (FAO., 2013). Cette pratique alimentaire vient régler aussi les problèmes de santé, car les insectes sont l'une des espèces les plus génétiquement éloignées de l'espèce humaine (Premalatha *et al.,* 2011). D'autre part, leur consommation améliore des moyens de subsistance et crée des revenus pour les populations (Halloran *et al.,* 2016). L'entomophagie est donc une solution à envisager pour pallier à ces difficultés d'ordre mondial. Dans un premier temps nous examinerons les techniques de production des grillons puis ensuite quelques pistes de valorisation de ces insectes dans l'alimentation humaine.

1. Présentation des étapes d'élevage des grillons

L'élevage de grillons démarre par la préparation du dispositif d'élevage qui est composé de cages qui sont des bacs en plastique de trois tailles différentes (Figure 1). Les bacs sont disposés sur des étagères en bois pour maximiser l'utilisation de l'espace. Il est très crucial de protéger les insectes contre les prédateurs. Pour cela, il faut prévoir un plastique de diamètre adapté au pied de l'étagère dans lequel l'on met de l'huile de vidange afin d'empêcher les prédateurs d'attaquer les grillons. Les grillons y sont ensuite répartis selon leur âge. Ainsi, les adultes reproducteurs sont mis dans les bacs centraux. Ces bacs contiennent des pondoirs, des mangeoires contenant de la nourriture, des abreuvoirs contenant de l'eau et des alvéoles d'œufs en carton selon leur effectif. Ensuite, les bacs d'incubation dans lesquels les jeunes grillons sont mis en incubation sont composés de pondoirs retirés des bacs centraux. Les boîtes de ponte sont légèrement humidifiées tous les jours afin d'éviter le dessèchement du sable et des œufs. Enfin, les bacs de croissance des jeunes grillons contiennent des pondoirs, des mangeoires, des abreuvoirs et des alvéoles d'œufs.



Figure 1. Cages d'élevage des grillons (LEAg, 2023)

La production des grillons se fait suivant les quatre principales étapes ci-après : la capture des géniteurs ; la production des œufs par les femelles ; l'incubation des œufs puis la phase de croissance.

1.1. *Capture des géniteurs*

Les adultes reproducteurs peuvent être capturés partout, dans la nature (**Figure** 2), chez soi ou dans un élevage voisin. Il faut simplement se munir d'une cage afin de faciliter le transport des insectes capturés vers insectarium.



Figure 2. Capture des géniteurs (LEAg, 2023)

1.2. *Production des œufs par les femelles*

Les grillons capturés sont placés dans une cage principale d'environ 80 litres. Des pondoirs composés de sable de rivière débarrassés de tous déchets et stérilisés sont disposés dans les cages. Ils sont retirés 7 à 10 jours après selon l'espèce de grillon en élevage puis placés dans des cages d'incubation. Chaque femelle peut pondre en moyenne 1.000 œufs selon l'espèce de grillon.

1.3. *Incubation et éclosion des œufs*

Après leur retrait des cages de reproduction, les pondoirs sont placés dans les cages d'incubation de 20 litres environs (Figure 3) où ils séjournent entre 07 à 14 jours selon l'espèce de grillon et les conditions d'incubation. Après l'éclosion, les jeunes grillons sont collectés et mis dans des cages de croissance d'environ 40 litres. La collecte des juvéniles se fait jusqu'à la fin de l'éclosion pour une production optimale.



Figure 3. Vue d'intérieur d'une cage d'incubation (LEAg, 2023)

2. Croissance des grillons

Dans les cages de croissance, les grillons continuent leur développement en passant par différents stades de mue jusqu'à l'âge adulte. A l'âge adulte, soit 45 à 60 jours après éclosion l'espèce *Grillus bimaculatus* mesure environ 33 mm et devient prête pour l'accouplement puis le cycle reprend.

3. Alimentation des grillons

Les grillons sont des êtres vivants omnivores, mais se nourrissent principalement de végétaux, cependant ils ont un large spectre nutritionnel. Leur alimentation doit pouvoir fournir tous les éléments nutritifs, notamment l'énergie et les protéines nécessaires à leur croissance et leur développement. Afin d'assurer une croissance rapide et optimale, nous avons formulé une farine composée de son de riz et de tourteau de soja. Les feuilles de manioc viennent aussi en complément pour maintenir leur style alimentaire. Il faut souligner que les grillons sont cannibales. Pour limiter ce phénomène, il faut veiller à ce que les densités dans les cages ne soient pas très fortes et que l'alimentation soit régulière et suffisante.

4. Entretien des cages

La tenue d'une bonne hygiène est très importante pour assurer la qualité sanitaire des insectes élevés. Pour cela, les cages, le milieu d'élevage ainsi que ses alentours doivent être régulièrement nettoyés. L'entretien des cages consiste à les débarrasser des déjections des insectes, des résidus d'aliments, des cadavres d'insectes, etc. L'entretien consiste également à contrôler les quantités d'aliments et d'eau présentes dans les cages et à les compléter lorsqu'il en manque. Cela permet de prévenir les maladies au sein de l'élevage, mais aussi de limiter le niveau de cannibalisme.

5. Présentation des infrastructures et matériels d'élevage des grillons

L'élevage des grillons se fait dans une serre de 20 m² entièrement grillagée et ventilée afin d'offrir aux insectes des conditions idéales. A l'intérieur de la serre sont disposées des étagères de deux à cinq niveaux sur lesquelles sont disposées des boîtes de 80, 40 et 16 litres servant de cages. Les cachettes sont des alvéoles d'œuf (Figure 4). Les pondoirs sont de petites boîtes de 15 cm de diamètre environ (Figure 5). Leurs couvercles servent de mangeoire s'ils sont creux (Figure 6). Enfin les abreuvoirs sont des petites boîtes utilisées en cosmétique et disponibles sur le marché (Figure 7). Leur couvercle est perforé afin d'y introduire du coton pour faciliter la consommation d'eau aux insectes.



Figure 4. Alvéole d'œuf en carton (LEAg, 2023)



Figure 5. Pondoir (LEAg, 2023)



Figure 6. Mangeoire (LEAg, 2023)



Figure 7. Abreuvoir (LEAg, 2023)



Figure 8. Vue d'intérieur d'une cage d'élevage des grillons (LEAg, 2023)

6. Description des espèces d'insectes en cours d'élevage

Les espèces de grillons en cours d'élevage au sein de l'insectarium du Laboratoire d'Entomologie Agricole sont *Gryllus bimaculatus* (Figure 9), *Acheta domesticus* (Figure 10), *Scapsipedus* sp (Figure 11) et *Gryllodes sigillatus* (Figure 12).



Figure 9. *Gryllus Bimaculatus*



Figure 10. *Acheta domesticus*



Figure 11. *Scapsipedus* sp



Figure 12. *Grillodes sigillatus*

7. Quelques pistes de valorisation des grillons dans l'alimentation humaine

Deux enquêtes ont été menées en 2020 à Abomey-Calavi, Cotonou et Porto-Novo pour évaluer l'état de l'entomophagie au Bénin :

- Une enquête d'opinion réalisée auprès de la population pour identifier les insectes comestibles consommés, les formes de consommation (entiers ou transformés) et les facteurs influençant leur adoption, puis,
- Une enquête commerciale menée dans 13 marchés et 13 supermarchés pour vérifier la présence de produits à base d'insectes et comprendre les motivations des vendeurs.

Les sites visités incluent les principaux marchés urbains et supermarchés des trois communes.

7.1. *Résultats des enquêtes*

Les figures 13 et 14 présentent respectivement les types d'insectes consommés puis les formes de transformation possible pour faciliter leur consommation.

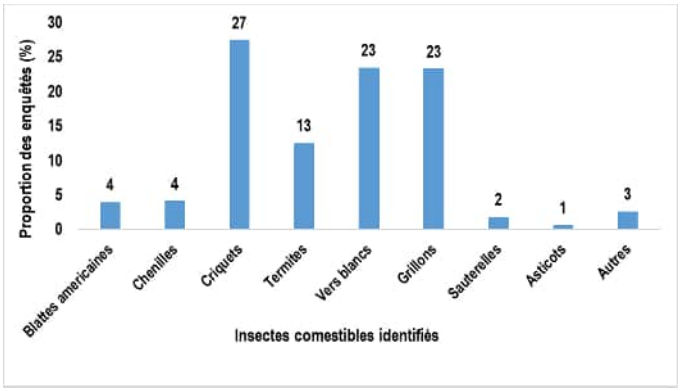


Figure 13. Différents types d'insectes comestibles consommés selon les enquêtés

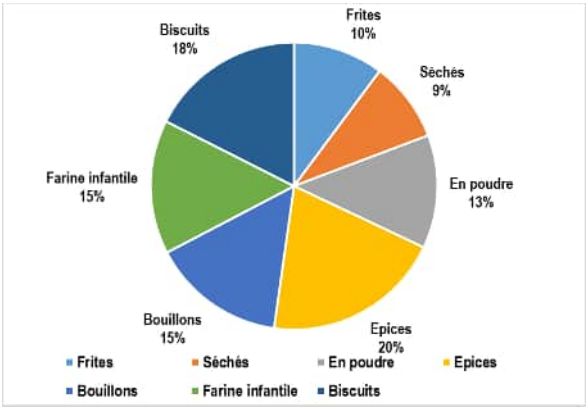


Figure 14. Formes de transformation pouvant inciter à la consommation des insectes comestibles

La collecte de données dans les marchés et supermarchés de Cotonou, Abomey-Calavi et Porto-Novo révèle l'absence de produits alimentaires à base d'insectes. Le seul supermarché qui avait une fois vendu des insectes frits les avait importés du Burkina Faso. Plusieurs supermarchés, sont favorables à la distribution de ces produits si une sensibilisation est menée et si l'offre devient disponible.

Conclusion

L'entomophagie est une pratique à promouvoir tant au Bénin que dans les pays de la sous-région du fait de ses avantages nutritionnels. Les grillons sont une espèce très bien maîtrisée

par le laboratoire d'entomologie agricole. En les intégrant dans l'alimentation, la possibilité de bénéficier de leurs nutriments est un avantage sur la santé pour une alimentation durable. Au Bénin, des consommateurs d'insectes comestibles et des potentiels consommateurs existent alors que les produits dérivés des insectes comestibles sont absents dans les marchés et les supermarchés. Par conséquent, la commercialisation des produits dérivés des insectes comestibles apparaît comme un potentiel atout aussi bien pour la recherche que pour l'entrepreneuriat au Bénin. Ainsi, il est indispensable de poursuivre les recherches afin de promouvoir l'entomophagie à travers la formulation de nouveaux produits à base d'insectes comestibles.

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont œuvré de près ou de loin à l'aboutissement du projet Insect4food qui a permis d'aboutir à ces résultats. Nous remercions aussi tous les partenaires financier et techniques de l'équipe du projet WBI et toute l'équipe projet.

Bibliographie

Van Huis, A., 2013. Potential of insects as Food and Feed in Ensuring Food Security. Annual Review of Entomology, **58, 563-583**.

Rumpold, B.A., & Schlüter, O.K. (2013). **Nutritional composition and safety aspects of edible insects**. *Molecular Nutrition & Food Research*, **57(5), 802–823**.

Oonincx, D. G., & De Boer, I. J. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans–a life cycle assessment. PloS one, **7(12), e51145**.

FAO. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. FAO Forestry Paper **171**.

Premalatha, M., Abbasi, T., Abbasi, S.A. (2011). Energy-efficient food production to reduce global warming and eco-degradation: The use of edible insects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **15(9), 4357–4360.**

Halloran, A., Roos, N., Flore, R., & Hanboonsong, Y. (2016). Entomophagy: Insects as Food in the Global North and South. In Insects as Food and Feed: From Production to Consumption. Wageningen Academic Publishers.

Fassinou, F. T. K., Ganta, R. S. E., Hinténou, M. V., Sohounnon, M., Bokonon-Ganta, A. H., Vissin, E. W., Crabeck, S., & Gosselin, M. (2024). Entomophagy in the Benin Republic, new opportunities for mass-rearing of edible insects. Journal of Insects as Food and Feed, 10(12), 1973–1985. https://doi.org/10.3920/JIFF2023.0142Brill

OUTILS D'ATTENUATION ET DE RESILIENCE DES COMMUNAUTES FACE AUX RISQUES ET CATASTROPHES CLIMATIQUES DE L'AIRE COMMUNAUTAIRE DE CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE DE LA BOUCHE DU ROY RÉSERVE DE BIOSPHERE DU MONO-BÉNIN

Florence Koussi GBESSO[1,2,3], Kannayi Frédéric LODOUHOUÉ[1,2], Sylvain DAAVO[1,2]

[1]*Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, BP 1338*

[2]*Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey Calavi, B.P 526 ;*

[3]*Laboratoire de Biogéographie et Expertise Environnementale (LaBEE), Université d'Abomey Calavi, B.P 526 ;*

Courriel : gbesflore@gmail.com, lodoufred@gmail.com

Résumé : *Une meilleure compréhension des effets des changements climatiques sur les Réserves de Biosphères et les solutions de résilience et d'atténuation est importante pour assurer leur gestion durable. Ainsi, le présent travail a pour objectif principal d'identifier les risques et catastrophes climatiques dans la zone d'étude et de proposer des solutions de gestion durable des risques et catastrophes basées sur l'Aire Communautaire de Conservation de la ges ont été effectuées auprès de 150 ménages.*

Les résultats révèlent 4 risques et catastrophes environnementaux majeures cités par les populations enquêtées. Il s'agit de l'inondation (plus de 87,33 %), des vents violents, de l'érosion côtière et de la sécheresse. La perception des causes des risques et catastrophes climatiques (la déforestation, les feux de végétation, l'augmentation des terres cultivables, etc.) ne dépend pas du sexe ni du niveau d'éducation des enquêtés (chi-2 test, p>0,05) mais fortement de l'âge et de l'ethnie des enquêtés (p = 0,001). Afin de faire face aux effets néfastes de ces perturbations que sont entre autres la perte élevée à la récolte et la recrudescence des attaques d'insectes, les populations adoptent diverses solutions de résilience et d'atténuation comme la sensibilisation et le soutien collectif (70 %) ; le culte de supplication et de purification aux dieux (34,67 %). Au terme de ce travail, il a été suggéré qu'un plan détaillé de gestion des risques soit mis en place pour l'ACCB Bouche du Roy.

Mots clés : *Risques climatiques, perception, résilience/atténuation et ACCB Bouche du Roy.*

Abstract Tools for mitigation and building community resilience to climate risks and disasters in the bouche du roy community biodiversity conservertion area, Mono-Benin biosphere reserve. *A better understanding of the effects of climate change on Biosphere Reserves and the resilience and mitigation solutions is important to ensure their sustainable management. In this perspective, a study was conducted with the populations living near the Community Biodiversity Conservation Area (ACCB) Bouche du Roy on their perception of climate risks and disasters. The main objective of this research is to identify climate risks and disasters in the study area and propose sustainable risk and disaster management solutions based on ACCB Bouche du Roy. Household surveys supported by group interviews were carried out with 150 households. The results reveal 4 major environmental risks and disasters were cited by the populations surveyed. These include flooding, strong winds, coastal erosion and drought. The flood was recognized by more than 87.33% of the population surveyed. These phenomena cause a lot of damage. The perception of the causes of climate risks and disasters (deforestation, wildfires, increase in cultivable land, etc.) does not depend on the gender or the level of education of the respondents (chi-2 test, p> 0,05). But it strongly depends on the age and ethnicity of the respondents (p = 0.001). In order to cope with the harmful effects of these disturbances, such as the high harvest loss and the resurgence of insect attacks, populations are adopting various solutions for resilience and mitigation. Among these, we note, the main solutions are awareness raising, collective support (more than 70% of respondents). The worship of supplication and purification to the gods is cited by 34.67% of the respondents. At the end of this work, it was suggested that a detailed risk management plan be put in place for the ACCB Bouche du Roy.*

Keywords *: Climate risks, perception, resilience, mitigation and ACCB Bouche du Roy*

Introduction

La réserve de Biosphère Transfrontière du Mono, dans sa grande superficie fait partie intégrante du site RAMSAR 1017. Elle est donc située dans une zone humide d'importance internationale édifiée par le fleuve Mono frontalier du Bénin et du Togo.
C'est aussi un espace côtier marin qui a une forte potentialité écotouristique sur le plan culturel et cultuel et, qui est très fréquenté par les populations de Porto-Novo, Cotonou, Ouidah et de la ville voisine de Lomé (2016).

En outre, la réserve dispose de divers paysages non pris en compte par le réseau actuel des aires protégées du Bénin notamment les littoraux, les zones humides (Ramsar, 2021), les savanes guinéennes, les plaines alluviales du Mono, la dépression à vertisol de Tchi, les presqu'îles et les îlots de forêts sacrées. Ces différents paysages sont caractérisés par des écosystèmes typiques du sillon dahoméen (Dahomey Gap) sur plaines, plateaux et milieux marins et côtiers de l'océan atlantique (les mangroves, les prairies marécageuses, les forêts marécageuses, les forêts ripicoles, etc.). Ces différents écosystèmes abritent une diversité d'espèces floristiques et fauniques dont certaines sont menacées au Bénin et en Afrique et sur le plan international (palétuviers, tortues marines, lamantin d'Afrique, hippopotame, oiseaux migrateurs paléarctiques, etc.) (2016).

La présente recherche veut analyser les apports réels des AP en matière de résilience et d'atténuation des risques et catastrophes climatiques, et relever les points d'amélioration aussi dans la mise en place des AP que dans la gestion.

1. Présentation du milieu d'étude

Située au Sud Bénin, l'Aire Communautaire de Conservation de la Bouche du Roy est comprise entre 6°15' et 6°23' de latitude nord et entre 1°52'30'' et 1°59'00''de longitude est et fait partie de la Réserve de Biosphère Transfrontière du Mono couvre une superficie de 9000 hectares (Fig 1)

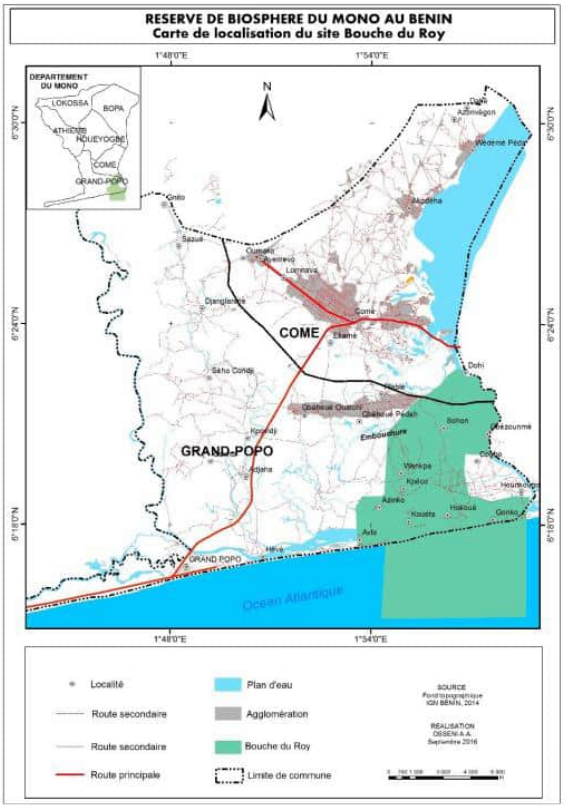


Figure 1 : Situation géographique de l'ACCB Bouche du Roy

2. Méthodologie

Elle est faite d'une combinaison d'approches qualitative et quantitative. En effet, on ne saurait aborder les risques climatiques exclusivement, à travers une approche quantitative étant donné que les acteurs concernés sont des humains qui ont des réalités sociales et économiques différentes. Les données ont été collectées dans les villages ciblés sur la base d'un questionnaire d'enquête semi-structurée. Les enquêtes ont été réalisées de janvier à février 2020. Le

questionnaire d'enquête comprend la collecte des informations relatives aux caractéristiques socio-économiques de l'enquêté (âge, sexe, niveau d'éducation, taille du ménage, l'activité principale, le nombre d'années passé dans le milieu, le niveau moyen de revenu mensuel, distance par rapport à l'aire communautaire).

La technique d'échantillonnage adoptée est basée sur un sondage au niveau des populations dans le milieu d'étude. Un échantillon *n* est donc choisi de façon aléatoire au niveau de la population mère. La taille (n) de l'échantillon a ainsi été estimée à 150 avec comme proportion p= 0,53. Afin de répartir l'échantillon sur les arrondissements riverains de l'ACCB, il a été procédé par pondération de la population totale par arrondissement.

3. Résultats et Discussion

3.1. Identification des risques et catastrophes environnementaux

La figure 2 présente la perception des populations riveraines de l'ACCB Bouche du Roy des risques et catastrophes environnementaux potentiels auxquels le milieu d'étude pourrait faire face.

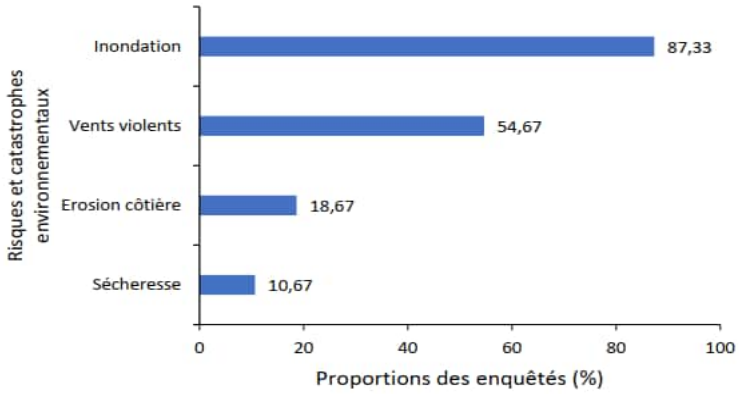


Figure 2 : Risques et catastrophes environnementaux potentiels du milieu d'étude

Au total, 4 risques et catastrophes environnementaux majeurs ont été cités par les populations enquêtées. Il s'agit de l'inondation, des vents violents, de l'érosion côtière et de la sécheresse. L'inondation a été reconnue par plus de 50 % des interviewés comme un risque majeur dans le milieu. Elle est suivie des vents violents (31,91 %). Les autres risques et catastrophes environnementaux (érosion côtière et sécheresse) sont faiblement cités par les populations.

3.2. Influence des caractéristiques sociodémographique sur la perception des populations riveraines de l'ACCB sur les risques et catastrophes environnementaux

Plusieurs facteurs peuvent influencer la perception des précédents risques et catastrophes cités par les populations. Ainsi, les figures 3 à 6 présentent la perception des risques et catastrophes environnementaux suivant les caractéristiques sociodémographiques des enquêtées.

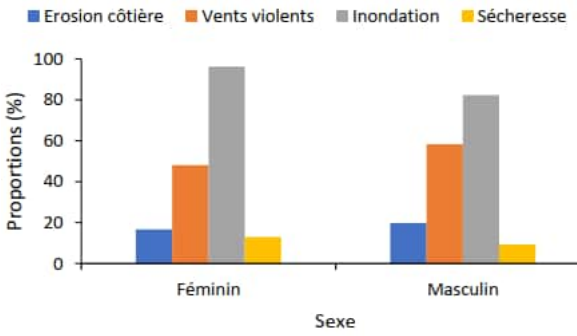


Figure 3 : Risques et catastrophes environnementaux potentiels suivant le sexe des enquêtés

L'analyse de la figure 3 montre que la perception des risques et catastrophes environnementaux par les hommes et les femmes est similaire. Effet, le risque d'inondation et les vents violents sont les deux premiers risques cités aussi bien par les hommes que les femmes. Cette situation s'observe également au niveau de l'âge des enquêtés (Figure 4)

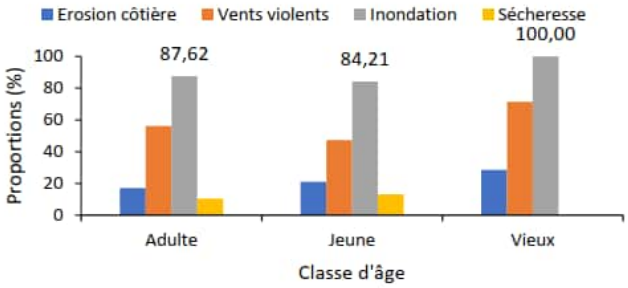


Figure 4 : Risques et catastrophes environnementaux potentiels suivant l'âge des enquêtés

La perception des risques et catastrophes environnementaux ne varie pas sensiblement suivant l'âge des enquêtés. Parmi les personnes enquêtées, les plus âgés (87,62 %) et 84,21 % des jeunes ont cité les inondations comme premier risque et catastrophe environnemental (Figure 5).

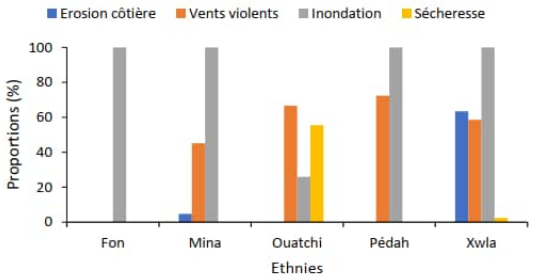


Figure 5 : Risques et catastrophes environnementaux potentiels suivant l'ethnie des enquêtés

La figure 5 montre une concordance dans la perception des risques et catastrophes environnementaux dans le milieu. Les fon, Mina, Ouatchi, Pédah et Xwla reconnaissent l'inondation comme premier risque environnemental. Il ressort de l'analyse des différentes figures précédentes que l'inondation est le risque environnemental le plus cité par les populations.

3.3. Nature des dégâts causés par ces risques et catastrophes environnementaux

La figure 6 montre les dégâts causés par les risques environnementaux.

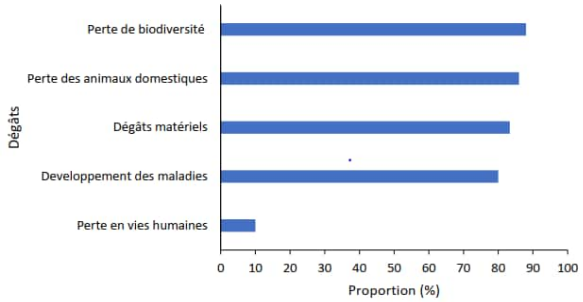


Figure 6 : Dégâts causés par les risques et catastrophes environnementaux

Au total, 5 dégâts causés par les risques et catastrophes environnementaux ont été cités par les populations. Il s'agit de : développement des maladies, dégâts matériels, perte des animaux domestiques, perte de biodiversité et la perte en vies humaines. De l'analyse de la figure 6, il ressort que la majorité des enquêtés (plus 70 %) ont affirmé que c'est le développement des maladies, les dégâts matériels, la perte des animaux domestiques, la perte de biodiversité qui sont les dégâts les plus importants dans le milieu d'étude.



Planche 1 : Quelques exemples de dégâts engendrés par les catastrophes : a : Chute d'un mur à Nazounmè suite à l'inondation ; b : Manifestation de l'érosion côtière à Avlo plage ; c : Inondation des habitations à Grand-Popo

Conclusion

Au terme de cette recherche, il ressort que le présent travail aide à mieux connaître les risques environnementaux et leurs impacts sur la vie socio-économiques des populations riveraines de l'ACCB Bouche du Roy. L'inondation, les vents violents, l'érosion côtière et de la sécheresse sont les risques majeurs du milieu d'étude. Ces risques et catastrophes sont d'intensité, d'étendue et de durée variables. Cela entraine le développement des maladies, les dégâts matériels, la perte des animaux domestiques, de la biodiversité et en vies humaines et même des impacts négatifs sur tous les services écosystémiques que fournit l'ACCB. L'origine des risques et catastrophes climatiques se trouve dans les mauvaises pratiques (la déforestation, les feux de végétation, l'augmentation des terres cultivables, etc.). La perception de ces causes varie suivant les caractéristiques sociodémographiques des enquêtés.

Bibliographie

AKOEGNINOU, A, VAN DER BURG, WJ et VAN DER MAESEN, LJG. 2006. *Flore analytique du Bénin.* 2006.

AMETEPE, A M. 1997. Forêts sacrées et conservation de la biodiversité au Bénin: Cas du département du Mono. 1997.

AMOUSSOU, G K, MENSAH, G A et SINSIN, B. 2006. Données biologiques, éco-éthologiques et socio-économiques sur les groupes d'hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) isolés dans les terroirs villageois en zones humides des départements du Mono et du Couffo au Sud-Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin.* Septembre 2006, 53

AMOUSSOU, E. 2010. Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'ouest). 2010. Thèse de doctorat.

INSAE. 2002. RGPH3. 2002.

KOUMASSI, H. 2014. Risques hydro climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de Couberi. 2014. p. 245. Thèse de doctorat, EDP/FLASH, UAC.

LOUGBEGNON, T. 2002. Le rôle de l'habitat sur la diversité de la faune avienne dans la zone subéquatoriale du Sud-Bénin. Mémoire de DEA en Gestion de l'Environnement, FLASH UAC.

PANA-Bénin. 2007. Programme d'action national d'adaptation aux changements climatiques du Bénin. Convention-cadre des nations unies sur les changements climatiques Cotonou, Bénin : s.n., 2007. p. 81.

RAMSAR. 2021. rsis.ramsar.org. [En ligne] Octobre 2021. https://rsis.ramsar.org/fr/ris/1017.

YAMASAKI, S. H. 2012. Première étude en vue de développer une méthodologie pour évaluer les vulnérabilités socio-économiques des communautés forestières du Québec aux changements climatiques. Montréal : s.n., 2012

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DES BARRAGES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE TOURISME DU LITTORAL NORD DE TUNIS

Gil MAHE[1], Oula AMROUNI[2], Abderraouf HZAMI[3], Essam HEGGY[4]

[1] *Hydrosciences Montpellier, IRD, CNRS, IMT Mines d'Ales,Hydropolis Faculté de Pharmacie, Université de Montpellier, France, gil.mahe@ird.fr*

[2] *INSTM,* 8 rue du 2 mars 1934, Carthage Salambô 2025 Tunis, Tunisie, oulaamrouni@gmail.com

[3] *INSTM,* 8 rue du 2 mars 1934, Carthage Salambô 2025 Tunis, Tunisie, abderraoufhzami@gmail.com

[4] University of Southern California, Viterbi School of Engineering, Los Angeles, CA, USA, heggy@usc.edu

Résumé *: Le Golfe de Tunis se situe au nord de la capitale et des centaines de milliers de touristes y séjournent tous les étés, attirés par ses longues plages de sable blanc, son climat tempéré et la qualité des productions locales de poisson et de fruits et légumes. Des études récentes ont établi que l'érosion littorale y est d'environ 5 mètres par an, ainsi la plage est passée de 200 m de large à moins de 20 mètres par endroits, du fait du piégeage des sables dans le plus grand barrage du pays sur l'oued Medjerda, seul contributeur en sédiment dans cette zone. La montée du niveau marin va provoquer la disparition à brève échéance du cordon littoral, qui va engendrer la submersion de plusieurs milliers d'hectares de terres agricoles et la destruction d'infrastructures. Les activités touristiques sont déjà impactées et vont provoquer le déplacement des populations.*

Mots-Clés *: Golfe de Tunis, Tourisme, Environnement, Submersion*

Abstract *: The Gulf of Tunis is located north of the capital and hundreds of thousands of tourists visit it every summer, attracted by its long white sand beaches, its temperate climate and the quality of local fish, fruit and vegetable production. Recent studies have established that coastal erosion is approximately 5 meters per year, thus the beach has gone from 200 m wide to less than 20 meters in places, due to the trapping of sand in the country's largest dam on the Medjerda wadi, the only contributor of sediment in this area. The rise in sea level will cause the disappearance of the coastal barrier in the near future, which will lead to the submersion of several thousand hectares of agricultural land and the destruction of infrastructure. Tourism activities are already impacted and will cause the displacement of populations.*

Keywords*: Gulf of Tunis, Tourism, Environnement, Submersion*

Introduction

Les littoraux sont soumis à une vulnérabilité grandissante du fait de l'augmentation permanente du niveau marin, et particulièrement en Méditerranée, du développement très important des activités et infrastructures littorales. Les premiers effets de cette montée du niveau marin se font sentir par la réduction de la largeur des plages et la destruction de constructions en bord de mer (Fouad et al., 2025). L'impact sur les activités touristiques commence à peser également sur les finances des villes côtières, qui doivent mobiliser de plus en plus de crédits pour mettre en place des ouvrages de protection et procéder fréquemment à la recharge artificielle des plages en sable dragué au large. Les plages du nord du Golfe de Tunis sont particulièrement vulnérables car très fréquentées l'été et concentrant une forte capacité de production socio-économique, et du fait que la zone est d'altitude très faible car elle correspond à l'ancien delta de l'oued Medjerda comblée au fil des siècles, et anciennement connue comme « Baie d'Utique » par les romains et les carthaginois et où y naviguaient leurs flottes (Paskoff, 1985). Cet espace abrite également plusieurs lagunes et sebkhas côtières, qui sont autant de zones humides menacées, dont une des propriétés, entre autres, est de constituer un rempart contre les submersions marines, grâce à leur cordon dunaire qui amortit la puissance de la houle. La montée croissante du niveau marin augmente, ici comme ailleurs la vulnérabilité du domaine littoral à la submersion, mais il s'ajoute deux facteurs aggravants : l'artificialisation du littoral qui perd ainsi une grande partie de son pouvoir défensif naturel contre la houle et les tempêtes, et un facteur très aggravant sur le long terme qui est la construction de grands barrages sur les cours d'eau, qui constituent habituellement l'essentiel des apports en sédiments au littoral. La

région nord du Golfe de Tunis a fait l'objet de nombreuses études pour documenter l'état passé, actuel et futur de l'environnement physique et humain, et on présente ici une première estimation de l'impact de la submersion prévue à horizon 2050 sur le tourisme et les pertes socio-économiques du secteur.

1. Historique des relations entre l'oued Medjerda et le littoral nord de Tunis jusqu'à la lagune de Ghar el Melh

Des recherches historiques attestent que la lagune de Ghar el Melh a été traversée par la Medjerda jusque vers 1890 (Figure 1). Puis le cours de la Medjerda s'écarte légèrement vers le Sud de la lagune pour déboucher directement en mer, ce qui a créé la flèche sableuse qui s'est étendue loin en mer et a pu être observée jusqu'en 1973 (Hzami et al., 2018). Durant toute cette période la lagune recevait encore de l'eau de la Medjerda lors de débordements de fortes crues. En même temps la lagune a commencé à fonctionner différemment du fait de ne plus recevoir l'ensemble des sédiments charriés par la Medjerda.

Plusieurs interventions humaines ont ensuite modifié le régime hydrologique de la Medjerda, avec des conséquences jusqu'au littoral. Vers 1936 les français ont creusé un canal -appelé canal Henchir Tobias-, à la sortie de Protville, et en amont de Kalaat el Andalous, qui avait pour fonction de dériver vers la mer les volumes d'eau trop importants des crues les plus fortes, pour protéger les zones agricoles de la basse vallée des inondations. Ainsi occasionnellement depuis la fin des années 1930, la Medjerda a commencé à voir une partie de ses écoulements dirigés vers le nord de Raoued, et donc soustraits à la recharge en sédiments vers la plage de Ghar el Melh. Mais ce n'étaient que des petites quantités d'eau et de sédiments, ainsi que l'étude des images aériennes et des anciennes cartes le montre car il n'y a pas de changement important au niveau de l'embouchure temporaire (Ben Moussa et al., 2019).

Le premier grand bouleversement a réellement eu lieu en 1973, avec la crue de récurrence millénale de la Medjerda qui a dévasté la basse vallée. Après la crue, on a constaté que la Medjerda avait changé son cours, et choisi d'emprunter le canal comme nouvel direction d'exutoire, au détriment de la précédente embouchure située juste au Sud de la lagune. Les images satellite montrent bien la création d'un nouveau pro-delta au nord de Raoued après 1973, ainsi que la disparition très rapide de la flèche sableuse au Nord, par arrêt des apports en sable. Les images montrent également la redistribution très rapide du sable de l'ancienne flèche tout le long du littoral nord du golfe de Tunis, ce qui a été à l'origine de la création de l'immense et très large plage de CocoBeach (Hzami et al., 2018).

Le second bouleversement s'est déroulé en 1981, avec la mise en eau du barrage de Sidi Salem. A partir de 1981 le barrage a commencé à retenir les sédiments de la Medjerda. Plusieurs programmes de recherche ont étudié cet impact sur la qualité et la quantité du transport sédimentaire à l'aval du barrage dans la basse vallée et jusqu'à l'estuaire et au domaine proche littoral. Il a ainsi et été démontré par l'étude de carottes sédimentaires et leur interprétation mutliproxy (séries hydrologiques et pluviométriques, chimie, isotopes, granulométrie) que la Medjerda n'apportait plus qu'environ 50% de ses sédiments à la mer, et en particulier que les sables étaient absents des enregistrements (Kotti et al., 2017). A partir de 1981 on observe par suivi satellite la disparition du nouveau pro-delta au Nord de Raoued, par arrêt de l'apport en sable, car les sédiments fins sont redistribués vers le large sans rester fixés sur la plage et ne servent donc pas à l'entretenir (Ben Moussa et al., 2019; Amrouni et al., 2019).

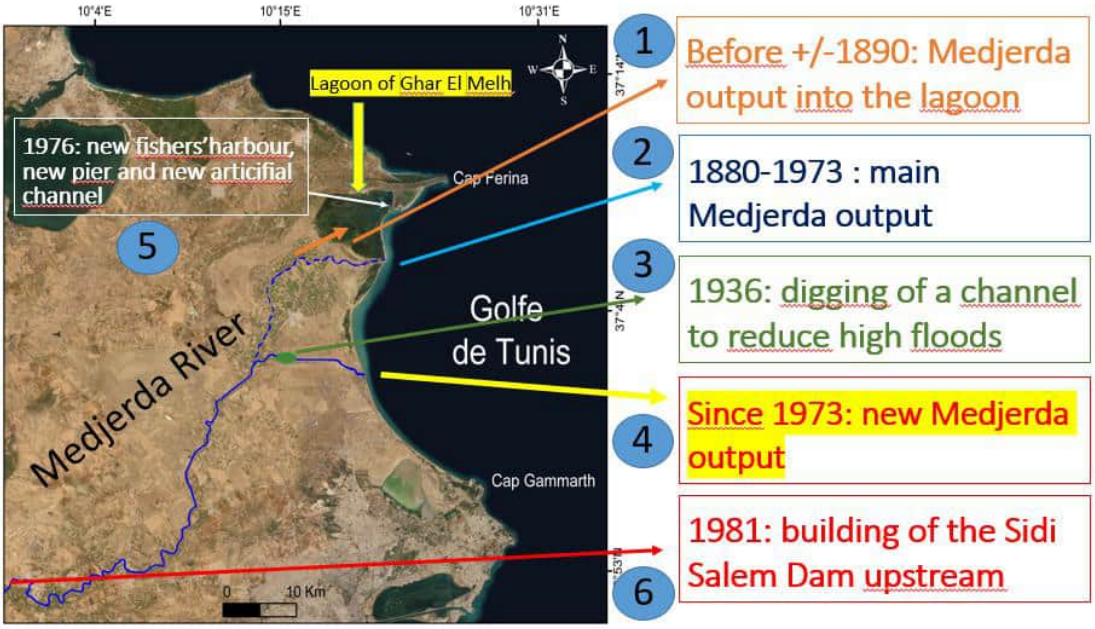


Figure 1. Etapes majeures de l'évolution du littoral du Golfe de Tunis, de la Medjerda à la lagune de Ghar el Melh.

Sans apports significatifs en sable, et en l'absence d'apports exogènes significatifs (éolien ou dérive littorale)(Amrouni et al., 2023), la plage de Cocobeach a commencé à perdre chaque année en moyenne 5 m de large de bande sableuse, par effet combiné de la montée du niveau marin et de l'arrêt de la recharge en sable (Hzami et al., 2018). Les parts de chaque origine restent encore à fixer, mais la part anthropique directe est probablement la plus importante. Une autre construction a eu un impact local sur la lagune et la plage, en 1975, c'est la construction du nouveau port en mer de Ghar el Melh, et le déplacement du chenal reliant la lagune vers la mer, depuis son ancien emplacement naturel -qui était l'exutoire naturel de la Medjerda jusque vers 1890- vers le Nord légèrement au Sud du nouveau port. Pour protéger cette nouvelle passe artificielle de l'ensablement, une digue a été érigée au nord de la nouvelle passe, bordant au Sud le nouveau port, qui a eu pour effet de stopper les modestes apports en sable venant de la dérive nord. Ainsi depuis 1981 la plage de Cocobeach se trouve privée de tout apport en sable par l'ensemble des aménagements qui ont été construits à partir de Sidi Salem jusqu'au littoral.

2. Vulnérabilité du littoral à la submersion

Le premier risque dans cette région est la fragmentation puis la disparition du cordon littoral, qui est le seul élément de paysage qui protège la basse vallée de l'impact de la houle La géographie très plate de tout l'ancien delta de la Medjerda situé à l'arrière du littoral, et occupé essentiellement par des cultures et des petits villages, rend toute la région très vulnérable à la submersion marine (Hzami et al., 2021). Selon plusieurs scénarios, près de 7000 ha seraient impactés dès 2050 par au moins un épisode de submersion par an (Hzami et al., 2024).

La région présente un fort intérêt socio-économique, d'une part du fait de la présence d'une grande plage très fréquentée par les touristes l'été, et d'autre part par la proximité avec la capitale Tunis qui offre des débouchés commerciaux important à toute la production maraîchère et aux prises de pêche des centaines de petites embarcations de pêche artisanale qui sillonnent la lagune de Ghar el Melh et le bord de côte. Il est à noter également une production d'huîtres locales et un développement rapide de l'aquaculture (daurade principalement).

Hzami (2021) présente (Figure 2) les zones subermgeables selon un scénario optimiste pour 2025, avec une élévation de 40 cm du niveau de la mer. Les zones en rouge dans l'encart jaune sur la figure 2 représentent l'environnement immédiat de la lagune de Ghar el Melh, site

RAMSAR et site de démonstration de l'UNESCO (voir section 3). Dans cette zone un recensement des différents types d'occupation du sol et des activités socio-économiques a été effectué (Hzami et al., 2024). La zone submergée en rouge représente une superficie de près de 4000 ha, principalement en zone agricole, mais couvre également de nombreux kilomètres de voies bitumées et de nombreuses maison, fermes et bâtiments privés et publics, ainsi que des locaux commerciaux.

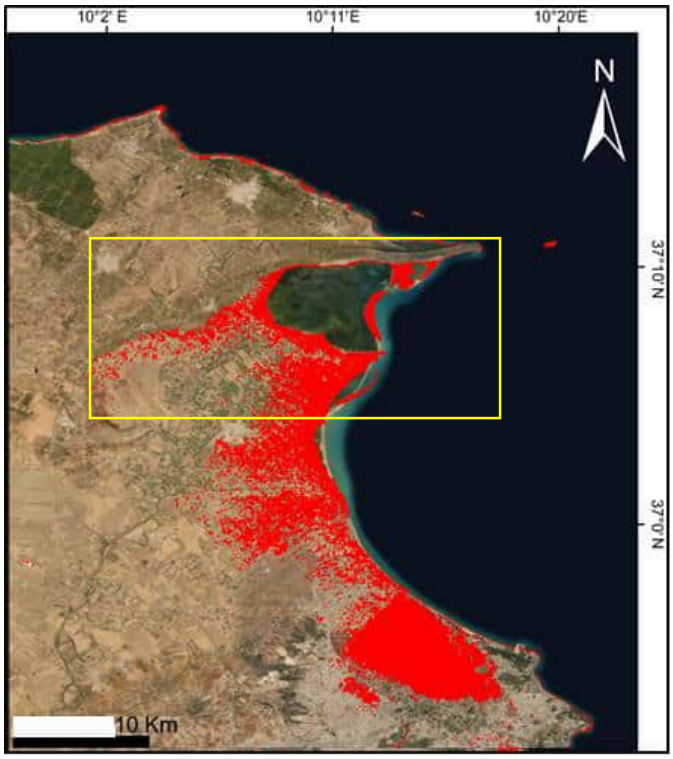


Figure 2. Littoral nord de Tunis, zones submergeables en 2025 selon un scénario optimiste et une élévation du niveau de la mer de 40 cm (Hzami, 2021). Encart jaune : environnement immédiat de la lagune de Ghar el Melh.

2.1. Impacts financiers de la submersion de la région de la lagune de Ghar el Melh

Une évaluation du coût de la submersion des zones rouges de la figure 2, encart jaune, à été réalisée à partir de données statistiques obtenues dans la littérature. Il ne s'agit que d'une première approximation, et elle devrait être consolidée par une approche plus méthodique de ce volet socio-économique. Néanmoins ces premières valeurs permettent de fixer un ordre de grandeur des enjeux financiers en cas de submersion. Il faudrait ajouter à ce volet le décompte des populations qui seront déplacées du fait de la perte de leurs terres ou de leur capital de production, ou de la perte de leur habitat. Les premiers éléments qui ressortent de cette première estimation sont les suivants :

pertes foncières :

- terres agricoles 4000 ha, valeur 70 millions de dinars tunisiens (M DNT)
- constructions et infrastructures (maison, routes, ports, usines,…) 100 M DNT

pertes de production :

- secteur de la pêche : 230 pêcheurs, 65 tonnes/an, 1,5 M DNT
- secteur de l'agriculture : 250 exploitants, 7500 tonnes/an, 15 M DNT
- secteur de la production animale, lait, viande, œufs, par an 15 M DNT

perte de service :

- secteur de la restauration : 77 restaurants, par an 40 M DNT

La valeur de la production économique du secteur se situe donc à plus de 70 M DNT par an. Selon une projection en 2050, et considérant une augmentation linéaire des surfaces submergées (et sans mise en place de travaux de réduction de la vulnérabilité), la perte financière d'ici à 2050 serait de près d'1 milliards de DNT. Si l'on ajoute à cela les pertes foncières estimées à 170 M DNT, on arrive à un total de perte financière de près de 1,2 milliards de DNT, auxquels il faut ajouter le déplacement de plusieurs centaines (ou un millier) de personnes.

Cet exode rural représentera un coût difficile à exprimer, mais leur installation dans d'autres villes alentours entrainera des dépenses d'aménagement aux communes accueillantes. Par ailleurs, il s'agit là d'une estimation de pertes financières directes. Il faut y ajouter très certainement un effet sur les emplois indirects qui seront également touchés par cette perte de capacité de production, mais que nous n'avons pas estimé dans cette première étude.

3. Mise en place d'un observatoire à long terme

Le cordon littoral de la lagune de Ghar el Melh ne fait plus par endroits que moins de 20 mètres, contre en moyenne 250 mètres il y a près de 50 ans, quand la Medjerda a changé de cours suite à la crue de récurrence millénale de 1973, à la suite de quoi le sable de l'ancienne flèche s'est réparti le long du cordon en en augmentant substantiellement la largeur. La vitesse très rapide du changement environnemental provoque des modifications rapides des activités socio-économiques. Devant la grande difficulté à obtenir des crédits de recherche réguliers pour développer des recherches pluri-disciplinaires à long terme sur le secteur, seule possibilité d'appréhender la complexité des interactions entre l'homme et son milieu (Amrouni et Mahe, 2021), il a semblé nécessaire et urgent de mettre en place un observatoire afin de documenter sur le long terme les paramètres environnementaux.



Figure 3. Observatoire OMELI de la Medjerda à la lagune de Ghar el Melh, emplacement des instruments.

La mise en place et la labellisation de l'Observatoire OMELI, site de démonstration du programme Ecohydrology du PHI de l'UNESCO (Figure 3) par l'INSTM et ses partenaires répond à ce besoin de suivi des phénomènes naturels et de l'évolution rapide de l'environnement littoral, afin d'anticiper les conséquences de la montée du niveau marin sur les zones à risque, et de proposer des sites d'étude pour la mise en place de solutions de remédiation, en particulier

des solutions fondées sur la nature pour ralentir, stopper ou inverser même les mécanismes en cours. OMELI permet le suivi de paramètres physico-chimiques de la lagune et de la Medjerda, le suivi des eaux souterraines, le suivi de la qualité des algues et de la macro-flore marine et de la morphologie du cordon dunaire. Des instruments d'analyse au laboratoire complètent le dispositif.

Conclusion

Le littoral nord du Golfe de Tunis et la lagune de Ghar el Melh subissent une érosion accélérée du fait de la montée du niveau marin et du déficit d'apports en sable à cause des barrages. Les activités socio-économiques sont déjà impactées par la réduction de la plage et sur le long terme ce sont plus de 4000 ha qui seraient submergés d'ici 2050. La création de l'observatoire du littoral OMELI permettra de mieux anticiper les conséquences de ces changements.

Bibliographie

Amrouni O., Sánchez A., Khélifi N., Benmoussa T., Chiarella D., Mahé G. Abdeljaouad S., Mclaren P., 2019. Sensitivity assessment of the deltaic coast of Medjerda based on fine-grained sediment dynamics, Gulf of Tunis (Western Mediterranean). Journal of Coastal Conservation, 23, 3, 571-587. https://doi.org/10.1007/S11852-019-00687-X

Amrouni O., Mahé G., 2021. Multi-criteria approaches to identify the shoreline retreat downstream of dams: the North African case, Proc. IAHS, 384, 133–139, https://doi.org/10.5194/piahs-384-133-2021

Amrouni O., Ibrahim Saïd H., Hzami A., Missaoui H., Mahe G., 2023. Eroding coastal sandy barriers under changing aeolian flux in the Gulf of Tunis. INSTM Bulletin, 48, 37-48. https://www.instm-bulletin.tn/index.php/bulletin/article/view/298

Ben Moussa T., Amrouni O., Hzami A., Dezileau L., Mahe G., Condomines M., Saadi A., 2019. Progradation and retrogradation of the Medjerda delta during the 20th century (Tunisia, Western Mediterranean). Comptes Rendus Geosciences. https://doi.org/10.1016/J.Crte.2018.10.004

Fouad S.S., Heggy E., Amrouni O., Hzami A., Nijhuis S., Mohamed N., Saleh I.H., Jomaa S., Elsheshtawy Y., Weilacher U., 2025. Soaring building collapses in southern Mediterranean coasts: hydroclimatic drivers & adaptive landscape mitigations. Earth's Future, 13,e2024EF004883. https://doi.org/10.1029/2024EF004883

Hzami A., Amrouni O., Romanescu G., Constantin Stoleriu C., Mihu-Pintilie A., and Saâdi A., 2018. Satellite images survey for the identification of the coastal sedimentary system changes and associated vulnerability along the western bay of the Gulf of Tunis (Northern Africa), Proc. IAHS, 377, 83–89, https://doi.org/10.5194/piahs-377-83-2018.

Hzami A., 2021. Etude morphodynamique du système littoral face auxchangements climatiques et à l'élévation du niveau dela mer (Golfe de Tunis, mer méditerranée). Thèse, Université Tunis El Manar, juillet 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.33677.41447

Hzami A., Heggy E., Amrouni O., Mahe G., Maanan M., Abdeljaouad S., 2021. Alarming coastal vulnerability of the deltaic and sandy beaches of North Africa. Nature Scientific Reports, 11, 2320. https://doi.org/10.1038/s41598-020-77926-x

Hzami A., Amrouni O., Heggy E., Mahé G., Missaoui H., 2024. On the growing socioeconomic vulnerability of Southern Mediterranean coastal lagoons, Proc. IAHS, 385, 377–385, https://doi.org/10.5194/piahs-385-377-2024

Kotti F., Dezileau L., Mahe G., Habaieb H., Benabdallah S., Bentkaya M., Calvez R., Dieulin C., 2017.The impact of dams and climate on the evolution of the sediment loads to the sea by the Medjerda River using a paleo-hydrological approach. Journal of African Earth Sciences, **142**, 226-233. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.10.003

Paskoff R., 1985. Les plages de la Tunisie, Editec, Caen, 198 pp.

CROISSANCE URBAINE DANS LA COMMUNE D'ALLADA : ENJEUX, DEFIS ET PERSPECTIVES

Alexandre OKE[1], Sèlomè Hilaire AÏMADE[2], Olive Kokouvi ADISSODA[3], GNIDETE Fabrice[4], Expédit Willfrid VISSIN[5].

Département de Géographie et d'Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, BP 1338
Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE),
Université d'Abomey Calavi, B.P 526
Courriel : alexandreugues@gmail.com, aimadehilaire@gmail.com, ,kokouviolive@gmail.com, fabricegnidt@gmail.com, exlaure@gmail.com

Resume : La présente recherche porte sur les défis et perspectives de la croissance urbaine dans la Commune d'Allada. A travers ce sujet, l'objectif est de présenter les facteurs qui expliquent, qu'à l'exception de la ville de Cotonou, la commune d'Allada présente entre autres des potentialités lui permettant aussi d'abriter des investissements publics favorisant ainsi sa croissance urbaine et son développement. L'analyse de la dynamique démographique montre que de 1979 à 2013, la commune d'Allada a connu une croissance exponentielle (de 62404 à 127493 individus) traduite par des migrations et un taux de natalité élevé. Cette analyse a permis également de relever que cette commune abrite une population majoritairement jeune ce qui constitue un grand atout pour son développement.

Mots clés : *Allada (Bénin), croissance urbaine, enjeux, défis, développement local, développement durable.*

Abstract Urbain growth in the municipality of Allada: issues, challages and propoectives. *This research focuses on the challenges and prospects of urban growth in the municipality of Allada. Through this subject, the objective is to present the factors that explain, with the exception of the city of Cotonou, the municipality of Allada has among other things, potentials that also allow it to haraval public investments thus promoting its urban growth and development. the analysis of demographic dynamics shows that from 1979 to 2013, the Municipality of Allada experienced exponential growth (from 62.404 to 127.493) individuals) translated into migration and a high birth rate. This analysis also showed that this Municipality is home to a predominantly young population, which is a great asset for its development..*

Keys words: *Allada (Benin), urban growth, challenges, stakes, local development, Sustainable development.*

Introduction

De tout temps, les agglomérations urbaines se sont créées en des lieux propices aux échanges commerciaux. Le réseau urbain reflétait dans l'espace les relations économiques dans un pays ou dans une région (Gapysi, cité par Kitcho Hadji, 2012, p.15). L'ampleur du mouvement d'urbanisation s'est manifestée dans l'ensemble des centres urbains et dans leurs périphéries qui s'étendent à un rythme effréné (R. Aguejdad, 2009, p.6). A ce rythme, les estimations prévoient que 65% de la population mondiale sera urbaine en 2025 (UNFPA, 2007, p.134).

En Afrique, au sud du Sahara francophone, les agglomérations urbaines connaissent un rythme de croissance qui s'accélère, sans prendre en considération les aspects démographiques, sociaux, économiques physiques et environnementaux de l'urbanisation (A. Noubouwo, 2017).

L'urbanisation correspond à une phase de transition d'une société véritablement rurale (équipements et modes de vie traditionnels ou homogènes) à une société urbaine (moderne ou hétérogène). Elle est un processus inhérent au développement social et économique (Amadou et Coll, 2009).. Dans les pays pauvres notamment en Afrique subsaharienne, la croissance urbaine est un phénomène universel qui a connu une accélération particulière (Hounvio, 2011).

Le Bénin n'échappe pas à ce mouvement d'urbanisation irréversible. Il connaît une croissance de plus en plus rapide de sa population. Selon les tendances révélées par les études nationales des perspectives à long terme au Bénin (PNUD, 2000, cité par J. Gnélé, 2010, p.14), ce taux serait de 65% en 2025. Cette situation est liée surtout au fort taux de natalité et à l'exode rural qui a pris une grande ampleur de nos jours (Zossou, 2008).

Cotonou, capitale économique du Bénin, a connu une urbanisation très avancée. En vingt ans, la ville a connu des bouleversements, notamment sur le plan paysager. Mais l'observation attentive de l'extension de l'agglomération démontre à quel point elle s'est agrandie sans tenir compte des contraintes naturelles. Les principales fonctions économiques, industrielles, commerciales, administratives, politiques et de transport s'y retrouvent (Gnélé 2010). Comme conséquences, le noyau central de la ville a rapidement été surpeuplé et les communes périphériques ont été occupées de manière anarchique. A cette croissance de la ville de cotonou la Commune d'Allada n'échappe pas, car elle présente un potentiel agricole exploitable pour son développement. C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude dont l'objectif est d'analyser la croissance urbaine dans la Commune d'Allada et d'étudier les facteurs favorables à son urbanisation afin de favoriser son développement.

1- Situation géographique et administrative de la Commune d'Allada

La Commune d'Allada est l'une des neuf (09) Communes du département de l'Atlantique et couvre une superficie de 381 km2. Elle est située au Nord du département entre 6°35'08'' et 6°47'02'' de latitude Nord et entre 1°58'06'' et 2°15'29'' de longitude Est. Limitée au Nord par la Commune de Toffo, au Sud par celle de Tori Bossito, à l'Est par la Commune de Zè et à l'Ouest par les Communes de Kpomassè et de Bopa, elle compte douze (12) arrondissements (Agbanou, Ahouannonzoun, Allada, Attogon, Avakpa, Ayou, Hinvi, Lissègazoun, Lon-Agonmey, Sékou, Togoudo, Tokpa-Avagoudo) subdivisés en cent treize (113) villages. La figure 1 présente les situations géographiques et administratives de la Commune de Allada.

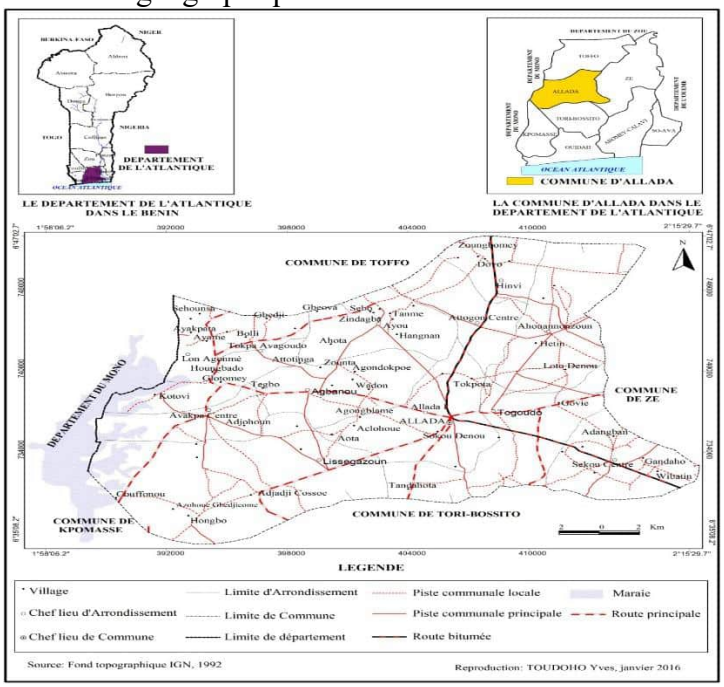


Figure 1. Situation géographique et administrative de la Commune d'Allada.
Source : Fond topographique IGN, 1992

2- Méthodologie

1.3.2. Collecte de données

- ✓ **Enquêtes de terrain**

Les enquêtes de terrain ont permis de connaître les facteurs qui expliquent la croissance urbaine dans la commune auprès des acteurs concernés (ménages, commerçants, élus locaux, paysans, artisans…) et de comprendre les défis auxquels les autorités locales sont confrontés en matière d'urbanisation. Aussi les enquêtes au niveau des différents bureaux de la mairie et des différents arrondissements de la commune ont permis d'avoir des données fiables.

✓ **Echantillonnage**

Pour mener les investigations socio-anthropologiques, la détermination d'un échantillon et de l'utilisation des techniques et outils appropriés ont été nécessaires. L'échantillonnage a été fait suivant la méthode des strates qui décroit de la commune à un individu en passant par l'arrondissement, le quartier /village et le ménage. La méthode du choix raisonné a permis d'évoquer les critères du choix des personnes enquêtées :

- avoir au moins 18 ans, pour la pertinence du raisonnement :
- être un chef de ménage ou épouse du chef de ménage et ou une autorité du développement local ;
-avoir vécu dans la région pendant au moins les cinq dernières années afin de mieux apprécier les changements qui ont lieu dans le milieu.

La taille de l'échantillon initial a été déterminée par la formule de Beaud et Marien :

Avec n la taille de l'échantillon initial ; N l'effectif total des ménages des 03 arrondissements. Sur les 12 arrondissements que comptent la commune, 03 sont parcourus dont 02 villages visités dans chaque arrondissement.

Ainsi, N= 8 178 ; n= 8 178 × 400 ÷ 8 178 + 400= 381 ménages. Cette taille étant importante, un taux de réduction de 50% lui a été affecté pour obtenir l'échantillon final.

En somme, la taille de l'échantillon est de cent quatre-vingt-dix (190) ménages répartis dans les 03 différents arrondissements choisis dans la commune. La population cible est constituée des ménages, des autorités locales, les commerçants, les acteurs locaux. Le choix des arrondissements Allada, Ahouannonzoun et Attogon se justifie par le fait que de façon respective, ils représentent le centre-ville de la commune, le moins rapproché du centre-ville et le plus éloigné pour mieux cerner l'intérêt des acteurs locaux vis- à-vis des populations.

Tableau I: Echantillon de l'étude

Arrondissements	Quartiers de villes et villages parcourus	Nombre de personnes enquêtées
Allada	Allomey	35
	Dogoudo	32
Ahouannonzoun	Loto-Dénou	26
	Ahito	32
Attogon	Niaouli I	27
	Attogon-centre	38
Total	**06**	**190**

Source : Enquêtes de terrain et résultat des calculs, Août 2022

3- Resultats

3.1. Facteurs démographiques

Au recensement général de la population et de l'habitation de 1979, la Commune d'Allada comptait 60.700 habitants. En 1992, cette population est évaluée à 77.107 habitants. En 2002, elle est passée à 105.309 habitants et en 2013 on dénombre 127.493 habitants. La figure ci-après présente l'évolution de la population de la commune d'Allada.

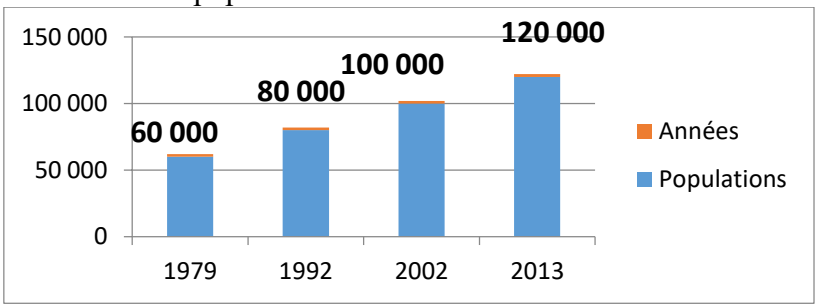


Figure 2: Evolution de la population d'Allada de 1979 à 2013

Source : INSAE, 2013

L'analyse de la figure montre que la population d'Allada connaît depuis 1979 à 2013 une importante croissance. Cette croissance de la population peut s'expliquer par l'arrivée des populations allochtones à la recherche de terres cultivables (INSAE, 2013) ou à la recherche d'un cadre de vie moins polluant avec des conditions de vie plus accessibles. Avec la formule de la projection démographique, on peut dire qu'au cours des années à venir, la commune d'Allada connaîtra une population de plus en plus en grandissante.

3.1.1. Enjeux, defis et perspectives pour un developpement durable de la commune

Les enjeux et défis liés à la croissance urbaine ne manquent pas.

3.1.2. Enjeux et défis

La Commune d'Allada est confrontée à des défis multiples car elle se doit d'améliorer la qualité de vie de sa population, d'être prête à accueillir les investissements qui l'aideront à construire des logements et des infrastructures pour être plus attractif et favoriser son développement.

A partir du diagnostic de la Commune d'Allada, il faudrait rappeler qu'elle offre un certain nombre d'avantages qui pourrait être exploité pour son urbanisation, devenir un défi et une opportunité de développement. Il s'agit de faire d'Allada une commune qui optimise son potentiel de croissance, crée des emplois qui attirent des gens, et qui offre une qualité de vie respectueuse de l'environnement. Etant donné que la population d'Allada est majoritairement agricole, elle devrait innover dans le domaine de l'agriculture pour une autosuffisance alimentaire.

En effet, l'avantage d'être Chef-lieu de département permet à la commune d'abriter de nombreuses infrastructures. Elle peut de ce fait accueillir des structures qui sont en générale implantées dans la commune de Cotonou ce qui favorisera l'installation humaine. Plus la population s'agrandit, plus la demande en consommation des produits est grande et profite à l'économie locale. La disponibilité des terres agricoles devraient inciter les autorités à installer des industries pouvant faciliter la création de l'emploi des jeunes, qui constituent une main d'œuvre de qualité.

Les différentes investigations menées montrent que les autorités locales sont prêtes à accueillir les investissements. Mais elles n'arrivent pas toujours à bien mobiliser les ressources propres, et les FADeC ou les ressources de l'Etat servent plus à renforcer le système éducatif, il y a moins d'investissement pour la voirie et l'éclairage public.

Il faut noter que des efforts d'investissement sont remarquables dans la Commune d'Allada (le projet de construction de 200 logements sociaux et le projet de réhabilitation du monument Toussaint Louverture en cours, l'installation du camp militaire…). Il est important que des mesures soient prisent pour aller à la fin des réalisations de ces projets en cours, pour éviter que les populations assistent à des projets inachevés qui seront pas profitable au développement de la commune.

En somme, il importe que l'Etat crée plus de conditions incitatives aux investissements en vue de réduire le chômage et booster l'emploi des jeunes. A cet effet, les autorités locales se doivent de repenser leur politique, de rendre plus attrayante leur commune à l'investissement en renforçant les secteurs du tourisme, de l'artisanat et de l'agrobusiness en vue d'accroitre la chance d'emplois des jeunes dans la Commune d'Allada. En outre les autorités locales doivent garantir la disponibilité de l'énergie en faveur des arrondissements en manque et encourager l'investissement dans la formation professionnelle des jeunes.

3.1.3. Perspectives pour une urbanisation harmonieuse et un développement durable de la Commune

La population doit avant tout prendre conscience de l'opportunité de sa croissance démographique en termes d'urbanisation. Il faudra également :

- Faire la promotion d'une culture de développement aux investissements et à la construction des infrastructures ;
- Education, sensibilisation et incitation aux pratiques du développement durable ;
- Créer des conditions d'insertion et d'orientation des jeunes dans les projets de développement ;
- Mieux rénover et aménager les infrastructures déjà mises en place ;
- Accroître les investissements dans l'éducation, la formation, la recherche et le développement ;
- Adopter de nouvelles stratégies pour mieux exploiter les zones urbaines ;
- Adopter une méthode de planification d'aménagement du territoire ;
- Eduquer, sensibiliser et inciter aux pratiques du développement durable ;
- Insérer et orienter les jeunes dans les projets de développement ;

Conclusion

La réflexion sur les questions d'urbanisation a beaucoup développé de nos jours. Aujourd'hui la croissance urbaine généralement perçue comme un moyen qui exerce une forte pression sur les ressources et les espaces agricoles peut également être un facteur de développement lorsque les enjeux et défis sont pris en compte. La présente recherche a permis de faire ressortir les facteurs de la croissance urbaine de la Commune d'Allada ainsi que les problèmes qui y sont liés. Les données recueillies sur la carte l'occupation du sol montre qu'il existe une grande disponibilité de terres pouvant être exploité pour moderniser l'urbanisation de la commune.

En effet, la Commune d'Allada dispose d'importantes potentialités favorables à son développement. Sa position géographique, la jeunesse de sa population (la tranche d'âge des 15-59 ans qui représente 49,62% de la population), sa croissance démographique, loin d'être des contraintes, ainsi que sa proximité avec Cotonou, la vitrine du Bénin constituent des atouts énormes pour son urbanisation. De plus, l'agriculture, principale activité est pratiquée par 80% de la population ce qui peut attirer des investissements dans le secteur de l'industrie.

Cependant, la commune se trouve confrontée à de problèmes majeurs de développement à savoir la faible implication des populations aux actions de développement, la faible valorisation de ses ressources naturelles et terres disponible, le manque d'un cadre de concertation dynamique entre le conseil communal et les différents partenaires au développement. Les hypothèses émises au départ ont été vérifiées.

Toutefois Il est souhaitable que les différents acteurs de développement prennent conscience des enjeux de la croissance urbaine et mène des actions pour moderniser et assurer un développement durable de la commune. Des mesures appropriées doivent être apportées, notamment le lotissement, l'assainissement, une planification spatiale afin que le développement durable de la commune soit garanti pour le bien-être de sa population.

Bibliographie

Kitcho H. (2012) : les relations économiques dans un pays ou dans une région. p.15 ;
R. Aguejdad, (2009) : L'ampleur du mouvement d'urbanisation dans les centres urbains et dans leurs périphéries. p.6 ;
Diagabaté, (2009) : L'urbanisation de nos jours progresse beaucoup plus rapidement dans les pays du Sud. p.15 ;
P. Abrantes (2011) : projections démographiques avaient à l'horizon 2020. p.67 ;
A. Noubouwo, (2017) : la croissance des agglomerations urbaines en Afrique au sud du sahara francophone ;
Amadou et Coll, (2009) : l'urbanisation est un processus inhérent au développement social et économique ;
Hounvio, (2011) : les pays pauvres en Afrique subsaharienne, la croissance urbaine est un phénomène universel ;
Gnélé (2010) : Les principales fonctions économiques, industrielles, commerciales, administratives, politiques et de transport ;
GNELE J. E. février (2010) : Dynamiques de la planification urbaine et perspectives de développement durable à Cotonou (République du Bénin) ;

INSAE (2007) : Enquête Modulaire Intégrée sur les Conditions de vie des Ménages ;

La Banque Mondiale, 26 juin, (2009) : L'urbanisation-économiquement et écologiquement durable fait l'objet d'un nouveau programme ;

QUENUM C. I. E. Z. août, (2021) : Manifestation de la dynamique urbaine dans l'arrondissement de Hevie ;

RGPH 4, (2013) : Cahier des villages et quartiers de villes Atlantique.

ARTISANAT ET TOURISME FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CAS DE LA REGION BOENY MADAGASCAR

Hery Lisy Tiana RANARIJAONA[1], Nandrianina RAKOTOSON, Vololoniaina NJATONANDRASANA, Tiantsoa ANDRIANASETRA, Whisler ANDRIAN'I, Lucien RAMIANDRISOA, Zafihita GASPARIEL, Michael BEFINOANA, Sylvana TOMBOANONA, Christian Chéri TOTONDRABESA, Cyrille MAHAROMBAKA, Auguste Botovao RAMIANDRISOA, Jorlin TSIAVAHANANAHARY, Vavindraza, Emilienne RASOANANDRASANA

[1]*Ecole de Tourisme, Université de Mahajanga,* hranarijaona@gmail.com

Résumé : *L'artisanat malgache, en lien avec le tourisme durable, joue un rôle essentiel dans l'économie, mais est menacé par la dégradation des écosystèmes naturels, accélérant le changement climatique. Cette étude vise à démontrer l'impact de cette dégradation sur l'artisanat et le tourisme, en particulier le raphia, ressource clé. L'analyse bibliographique et les enquêtes réalisées auprès de 59 participants (artisans, vendeurs, touristes) dans la région de Mahajanga ont révélé la perception du changement climatique et ses effets sur l'approvisionnement en matières premières. Les résultats montrent que l'exploitation non durable du raphia et la conversion des habitats naturels nuisent à l'artisanat et à l'écotourisme. La gestion durable des ressources naturelles et l'artisanat comme outil de sensibilisation sont essentiels pour un développement durable du secteur.*

Mots-clés : *artisanat, écosystèmes naturels, changement climatique, tourisme.*

Abstract: **Driving climate action for handicraft and tourism in Boeny Region, Madagascar.** *Malagasy handicrafts, linked to sustainable tourism, play a crucial role in the economy but are threatened by the degradation of natural ecosystems, accelerating climate change. This study aims to demonstrate the impact of this degradation on handicrafts and tourism, particularly raphia, a key resource. The bibliographical analysis and surveys conducted with 59 participants (artisans, vendors, tourists) in the Mahajanga region revealed perceptions of climate change and its effects on raw material supply. The results show that unsustainable raphia exploitation and habitat conversion harm handicrafts and ecotourism. Sustainable resource management and using handicrafts as a tool for awareness are essential for the sector's sustainable development.*

Keywords: *handcrafts, tourism, naturals ecosystems, climatic change.*

Introduction

Le changement climatique, causé principalement par l'augmentation des gaz à effet de serre, affecte directement les sociétés humaines à travers la raréfaction des ressources naturelles, énergétiques et alimentaires. La durabilité, dans ce contexte, implique une exploitation responsable des ressources afin de répondre aux besoins présents sans compromettre ceux des générations futures. Dans cette perspective, l'artisanat et le tourisme, bien encadrés, peuvent constituer des leviers importants pour un développement durable, comme le souligne le Ministère du Tourisme et de l'Artisanat de Madagascar (https://www.mta.gov.mg/).

L'artisanat, en tant que savoir-faire ancestral à forte dimension manuelle, est un secteur porteur d'emplois et de richesses, notamment dans les zones rurales. Il joue un rôle essentiel dans l'attractivité touristique en tant que vecteur d'identité culturelle (Goeldner et Ritchie 2009). Le cas du raphia (*Raphia farinifera*), fibre naturelle emblématique de Madagascar, illustre parfaitement cette dynamique : très prisé sur le marché mondial, notamment en Chine, il est au cœur d'un artisanat florissant. Toutefois, sa surexploitation et la conversion de ses zones marécageuses en rizières menacent à la fois les écosystèmes et la viabilité à long terme de la filière. Face à ces enjeux, cette recherche vise à démontrer que l'artisanat et le tourisme peuvent contribuer à la lutte contre le changement climatique, à condition d'être intégrés dans une stratégie de conservation et d'écotourisme durable. À travers l'exemple du raphia dans la région Boeny de Madagascar (figure 1), l'étude explore comment une gestion écologique de cette ressource peut générer des revenus, tout en réduisant la pression sur les écosystèmes. Elle pose

l'hypothèse que l'écotourisme et la conservation sont les principales voies de durabilité pour l'artisanat malgache.

1. Matériels et méthodes d'études

Le matériel biologique faisant l'objet de l'étude est le Raphia ou *Raphia farinifera* L. (Arecaceae), une plante non ligneuse marécageuse, à croissance lente (après sa floraison qui demande 30 ans, la plante meurt), exploitée dans son milieu naturel, malgré la restauration actuelle. La collecte est effectuée du mois de mai à septembre. Le raphia est exploité pour ses jeunes feuilles et ses fruits comestibles qui sont vendus dans les petits marchés locaux. Le raphia est principalement exporté sous forme de fibres brutes. Les fibres à Raphia sont légères et malléables. Les marécages à Raphia situés dans les forêts humides (à l'Est) et du sub-humides (à l'ouest) de basse altitude inférieure à 400 m à Madagascar (Environnant le Parc National Ankarafaantsika, Besalampy, Antrema), sont les habitats naturels de la plante de raphia, quand les milieux sont en équilibre. Malheureusement, la forêt environnante disparaît en général et le marécage est converti en terrain rizicole bien qu'il constitue une ressource hydrique essentielle. Cette conversion entraine l'assèchement du marécage et le problème en eau dans les zones environnantes.

Nos sites d'études (Fig.1) comprennent la ville de Mahajanga, située dans le district de Mahajanga I, region Boeny, qui est le lieu de marchés où se trouvent la vente des produits artisanaux à Raphia, et faisant l'objet d'enquêtes et les marécages à Raphia dans la région Boeny (Nouvelle Aire Protégée Antrema, à Miadàna, à Ankarafantsika et ses environs).

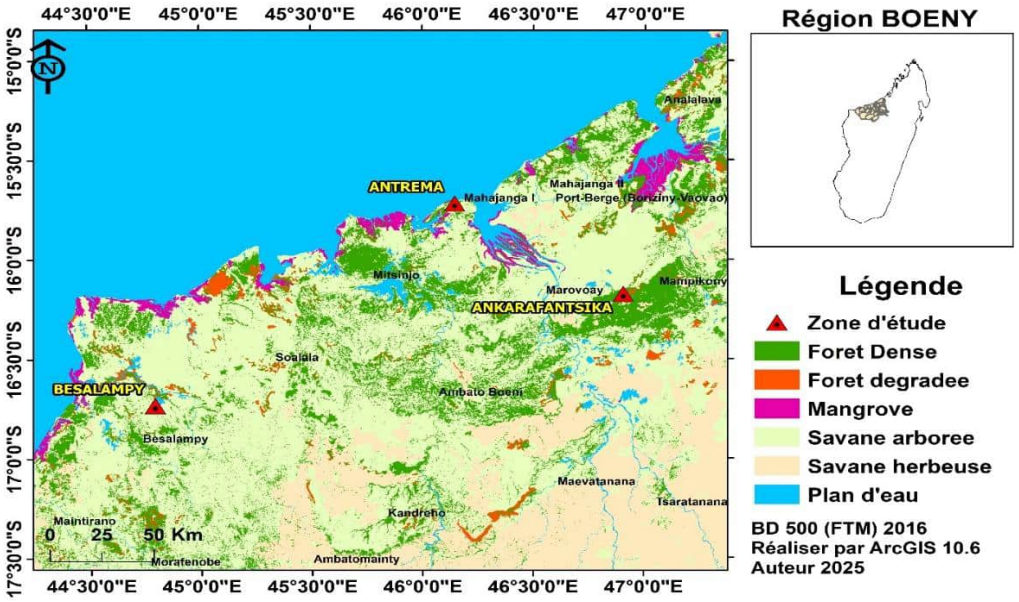


Figure 1 : localisation de la région Boeny avec les principales zones de collecte de raphia.

L'analyse bibliographique en rapport avec le thème a été réalisée. Des données publiées dans six sites d'exportateurs ont été exploitées en plus des articles. Des observations sur place des marécages à Raphia dans les zones pré-citées, suivies des enquêtes, en Février et mars 2024, dans la ville de Mahajanga (dans quatre lieux de marches : Mahabibo, Tsaramandroso, Marolaka, et Bazar be) auprès d'au total 59 enquêté(e)s ont été réalisées : - 10 exploitants de Raphia - 30 vendeurs de produits artisanaux dont des produits à Raphia - auprès de 5 artisans à Antanimalandy - 2 artisans de la boutique Rouge beauté, 1 artisan de l'association Baobab, un personnel de la société Kalfane fils exportateur de Raphia ; et enfin, 10 touristes pris au hasard ont fait l'objet d'enquêtes. Une fiche d'enquête a été dressée basée sur la perception du changement climatique et son impact sur les artisans et les touristes, les variations des prix des

produits artisanaux, et la gestion du Raphia pour l'artisanat durable. Les méthodes qualitative et quantitative ont été faites pour l'analyse de données.

2. Résultats

2.1. Les différents produits de raphia

Le raphia est un produit naturel dans un milieu naturel sans engrais chimique mais complètement bio. Il est principalement exploité pour ses fibres brutes : raphias naturels en floches, pelotes, ou manchons. Le raphia est une fibre polyvalente valorisée de façon multiples en artisanat. Différents produits finis sont esthétiques et durables obtenus des fibres valorisées à savoir des sacs, chapeaux, sets de table en raphia, des dessous de verres ou des corbeilles à fruits, éventail, tapis, abat-jours, miroirs, rideaux, pantoufles, souliers, bouton, collier, trousses, classeur, porte-monnaie, portefeuilles, emballage naturel de bouteilles, des fleurs, ….Les fibres à raphia sont traités et teintées (souvent avec des teintes naturelles) avant de les valoriser et /ou l'exporter vers les différents marchés nationaux et internationaux.

2.2. Les bénéficiaires de l'artisanat à raphia

Les concernés de l'exploitation pour la filière artisanale sont : les exploitants/collecteurs, les artisans, des intermédiaires commerciaux, des agents de conditionnement et des consommateurs des produits finis dont les touristes. Le nombre de familles qui vivent aux dépens de la production et de la vente des fibres à raphia dans la ville de Mahajanga est relativement important : plus de 30 familles vendeurs de produits à raphia se trouvent dans les marchés cibles. Parmi les vendeurs, 80 % sont des femmes et 20 % des hommes. Leurs catégories d'âges varient de 22 ans à 60 ans. Ce sont surtout les visiteurs et les touristes qui achètent leurs produits en plus des vendeurs locaux. D'après les enquêtés, le raphia est apprécié par sa beauté naturelle et ses qualités écologiques. Le nombre d'acheteurs mensuel de produits à raphia varie de 5 (pendant la basse saison) à 15 acheteurs (pendant les vacances). Il y a plus de femmes (en moyenne 70%), que des hommes (30 %) acheteur(e)s.

2.3. Apports économiques par la vente au niveau national et l'exportation du raphia

Les prix des articles à raphia (Tableau.1) varient : voici quelques exemples selon les enquêtes effectuées : les assiettes de table coutent 15000 MGA à 25000 MGA ; un sac coute 35000 MGA à 50000 MGA. Les exportateurs vendent des articles à raphia en chapeau ou autres à 2500 $ /100 Pièces (des exportateurs de raphia naturel existent à Madagascar. Le prix du tonne de raphia varie d'un exportateur à l'autre : 1750 Euros / tonne avec une quantité minimum acceptée de 17 tonnes, 35 tonnes par mois (http:// Espaceagro.com). Une société comprenant 40 collaborateurs possède un atelier de fabrication d'accessoires en raphia et exportent les produits obtenus par mois. Les tableaux suivants donnent les variations des prix pendant la saison haute et saison basse en tourisme.

Tableau 1. Variations des prix des articles à raphia pendant la haute saison en tourisme dans la ville de Mahajanga.

Marchés / Produits	Mahabibo	Marolaka	Bazaribe
Grand panier	10000Ar-15000Ar	10000Ar-15000Ar	15000Ar-30000Ar
Panier de taille moyenne	9000Ar-12000Ar	9000Ar-12000Ar	2000Ar-9000Ar
Chapeau	2000Ar-5000Ar	2000Ar-5000Ar	
Sous plats (6 pièces)	11000Ar-17000A		

Portefeuilles	7000Ar		
Sac dame/demoiselle	7000Ar-14000Ar		
Porte photos	5000Ar-6000Ar		
Tiroir			20000Ar-30000Ar
Boite à bijoux			20000Ar-25000Ar
Natte	14000Ar		19000Ar
Porte photo			6000Ar
Eléments décoratif : petit lémurien, petit baobab en raphia			9000Ar

Le prix moyen des produits finis varie d'un article à l'autre : 3500 MGA pour le chapeau, 10500 MGA la pièce d'un sac. Dans l'ensemble, les prix des produits artisanaux sont relativement abordables pour les touristes ; Leur vente peut subvenir des familles non négligeables. Il en est de même, pendant la saison basse (tableau 2). Le prix d'un article varie de 4000 ariary à 25000 ariary.

Tableau 2. Variations des prix des articles à raphia pendant la basse saison dans la ville de Mahajanga.

Marchés / Produits	Mahabibo	Marolaka	Bazaribe
Grand panier	6000Ar-12000Ar	9000Ar-14000Ar	7000Ar-20000Ar
Panier moyenne	8000Ar -10000Ar	8000Ar-10000Ar	10000Ar-8000Ar
Chapeau	2000Ar - 4000Ar	2000Ar-4000Ar	
Sous plats	10000Ar-16000Ar		
Portefeuilles	6000Ar		
Sac dame/demoiselle	6000Ar-12000Ar		
Porte photos	4000Ar-5000Ar		5000Ar-6000Ar
Trousse			20000Ar-29000Ar
Boite à bijoux			20000Ar-25000Ar
Natte	12000Ar		18000Ar
Eléments décoratif : petit lémurien, petit baobab en raphia			8000Ar

2.4. Avantages écologiques du raphia pour l'artisanat et l'écotourisme

La forêt marécageuse à raphia constitue un véritable réservoir hydrique, de la nappe phréatique dans son environnement. L'eau est très riche quand l'habitat naturel du raphia est conservé. Le raphia héberge une fougère épiphyte comestible (felipomby ou *Nephrolepis bisserrata*) qui est fortement recherchée par la population locale pendant la période de pluie, pour la sécurité alimentaire. La forêt marécageuse à raphia héberge d'autres plantes endémiques Malgache qui sont utilisées par les populations locales dans la médecine traditionnelle.

Le raphia est un produit biodégradable de faible empreinte écologique, même en fin de vie, il se décompose sans polluer les sols ni laisser de traces toxiques comme les plastiques qui causent des dégâts environnementaux considérables. Les teintes utilisées pour colorer le raphia sont souvent des teintes naturelles. (Exemple celles obtenues du palétuvier). La récolte et la

transformation du raphia demandent peu de ressources et se font généralement à la main, limitant ainsi la consommation énergétique et les émissions de CO_2. Le produit raphia est une matière esthétique, résistante et durable à l'usure, isolant et léger (facilement transportable pour les touristes). Il est utilisé pour les décorations et objets divers.

2.5. Les pressions sur la forêt marécageuse à raphia et la perception - conséquences sur le changement climatique

Le Raphia est le principal produit de cueillette non ligneux à Madagascar. Les pressions qui pèsent sur les habitats naturels du Raphia et sur la filière de production de Raphia sont les suivantes : dégradation des ressources raphières à cause de la conversion des habitats naturels en terrain rizicole par les migrants, exploitation destructive des ressources raphières, les feux de brousse mis sur la forêt environnant le marécage à Raphia, qui favorise l'érosion suite à la dégradation du sol forestier, engendrant l'ensablement et la sédimentation dans les marécages à Raphia, la désorganisation de la filière (manque de coordination au niveau de la filière, corruption, absence de professionnalisme des acteurs), dégradation de la qualité des produits et diminution de la production selon les exportateurs.

Tous les enquêtés ont répondu que le changement climatique se fait sentir dans la région Boeny. Les fréquences des réponses varient d'un(e) enquêté(e) à l'autre : hausse de la température plus qu'auparavant (100 %), augmentation du nombre du cyclone (90 %), la forte pluie (100 %), retard de pluies (100 %), la montée du niveau de la mer (100 %) ayant des impacts sur la pêche. Les causes du changement climatique sont l'action de l'homme (pollution et déforestation) (100%). Les conséquences du changement climatique sur l'artisanat sont : - accès difficile pour la collecte des matières premières – disparition de ces dernières à cause de la sédimentation et l'ensablement – peu de touristes qui peuvent arriver à leur destination – destruction des zones de destination entraînant une mauvaise réputation touristique.

2.6. Ecotourisme durable face au changement climatique

Voici quelques solutions pour réduire l'impact du climat tout en s'adaptant au changement inévitable causé par le changement climatique et pour qu'il y ait un écotourisme durable : l'utilisation des énergies renouvelables, l'usage des voitures électroniques, la contribution au système REDD+ par l'aide des populations locales pour le reboisement et la restauration forestière afin de réduire les émissions de gaz carbonique. Les touristes peuvent contribuer au reboisement (tourisme vert) et/ou à la sensibilisation des populations locales dans les zones de destinations sur l'importance de la conservation et de la durabilité. Il y a aussi l'artisan vert appuyé par les touristes genre responsabilité sociétale de l'entreprise, en valorisant des bouteilles en plastique.

2.7. Conservation – tourisme et artisanat

Des observations directes dans les sites ont été réalisées, sans avoir effectué des relevés écologiques, une des lacunes de ce travail. Dans des zones protégées comme la Nouvelle Aire protégée Antrema, c'est le roi traditionnel ou ampanjaka qui gère le Raphia dans son milieu naturel. La population de la NAP Antrema respecte le calendrier de collecte du Raphia en respectant la directive du roi. En plus, la population restaure le Raphia dans la NAP Antrema. La gestion va dans le bon sens pour le raphia de la NAP Antrema. Dans des zones sans conservation, le marécage à Raphia est exploité soit par la conversion en rizières, soit par la surexploitation des jeunes feuilles. Ainsi, des pieds de Raphia sont rabougris voir mêmes morts, les marécages tendent vers l'assèchement. Dans le parc national Ankarafantsika, une restauration de Raphia a été également réalisée avec des jeunes plants. L'exploitation est également gérée avec les populations locales et le directeur du parc.

3. Discussion

Madagascar ne compte qu'une seule espèce de raphia, alors que l'Afrique en utilise 21 sur 22 existantes, principalement pour la construction (19 espèces) et l'alimentation (18 espèces) (Kamga et al., 2020). À Mahajanga, cette ressource génère d'importants revenus pour les populations rurales grâce à la vente d'articles artisanaux (chapeaux, sacs) aux touristes et à l'exportation. Cependant, la raréfaction des matières premières due aux aléas climatiques (cyclones, inondations) et à la surexploitation entraîne une hausse des prix, comme observé au Cameroun (Kaflo *et al.,* 2015).

Les utilisations variées du raphia incluent chaume pour les infrastructures touristiques (R. monbuttorum et R. zamiana les plus résistantes), fabrication de balais (nervures des feuilles), emballage des produits agricoles

Pour une gestion durable, des initiatives combinent conservation et valorisation économique ; partenariats institutionnels pour promoouvoir les matériaux recyclés, labellisation des produits artisanaux, intégration touristique (ateliers, visites)

Cette approche vise à préserver à la fois les ressources naturelles et les savoir-faire locaux, tout en stimulant l'économie circulaire.

Conclusion

Le Raphia de Madagascar, bien plus qu'une simple fibre végétale, représente un outil clé pour la durabilité de l'artisanat et du tourisme face au changement climatique. Sa conservation et une gestion rigoureuse des ressources naturelles sont essentielles pour assurer la pérennité du secteur. La destruction des milieux naturels, notamment des marécages à Raphia, doit être évitée afin de lutter contre l'assèchement et la dégradation écologique.

Tous les acteurs, qu'ils soient artisans, vendeurs ou touristes, doivent travailler ensemble dans un cadre éthique et respectueux des législations environnementales pour préserver l'habitat naturel du raphia et la biodiversité. En parallèle, la gestion en réseau de l'artisanat et du tourisme vert peut renforcer la résilience de la région face au changement climatique. Les nouvelles zones touristiques et la conservation des forêts marécageuses seront cruciales pour un développement durable.

L'exportation des matières premières, telle que le raphia, doit être réalisée dans le respect des normes écologiques et sociales, garantissant des conditions de travail décentes et la préservation des ressources naturelles pour un artisanat et un tourisme durable.

Bibliographie

Goeldner, Charles R. et J.R. Brent Ritchie. 2009. *Tourism: principles, practices, philosophies* Hoboken (NJ), John Wiley and Sons Inc (11e éd.).

Kamga S., M. Brokamps G., Cosiaux A., Awono A., f-Furniss S., Barfod A.S., Muafor F.J., Le Gall Philippe, Sonke, B., Couvreur Thomas, 2020: Use and cultural significance of Raphia Palms. *Economic Botany*, [Early access, p. 19. https://doi.org/10/1007/S12231-020-09487.

Razafinjatovo, N. 2006 : *Une filière menacée : Raphia farinifera. Conférences débats sur la valorisation des produits forestiers. Filières § Ministère des eaux, de l'Environnement et des Forêts*. FFEM-CIRAD-FOFIFA-ESSA

Randrianjafy, Z. 2005. *Fonctions économiques et écologiques du raphia, une plante à usage multiple* ; Note scientifique.

Kaffo, C., Kano, C. M., & Temgoua, N. Y. 2015 : Sociologie – Anthropologie : l'exploitation du raphia en économie de survie à l'ouest du Cameroun. *Recherches Africaines*, **(06)**. https://revues.ml/index.php/recherches/article/view/651.

https://www.iisd.org/fr/articles/lexploitation-durable-des-ressources-naturelles-le-defi-de-la-gouvernance# consulté le 15 avril 2025.

ANALYSE DES POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT DE L'AIRE SOCIO-CULTURELLE DE WEME PAR LA VALORISATION TOURISTIQUE DES RESSOURCES EN EAU POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'AIRE SOCIO-CULTURELLE WEME

Lawomi Patrice SENOU ; Karimoune MAHAMAN [2] ; Eline TCHINHOUN Epouse AGOLIGAN[3]; Hervé KOUDJEGA.[4]

1-Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université Abomey-Calavi ; senoupatrice2017@gmail.com *;*

2- Département de géographie, Université Abdou Moumouni.. karimoune2007@yahoo.fr *; Niamey/Niger ;*

*3-Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université Abomey-Calavi;*eline.karen@yahoo.fr*,;*

4- Laboratoire Pierre PAGNEY : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement, Université Abomey-Calavi. koudjegaherve@gmail.com.

Résumé : *Le patrimoine culturel soutient le développement du tourisme. Le présent travail vise à contribuer au développement de l'aire socio-culturelle de Wémè par une meilleure valorisation touristique des ressources en eau. Plusieurs données sont collectées et des outils et techniques utilisés. Le traitement des données a été réalisé et es résultats analysés. Des résultats issus des investigations, il ressort que le pays Wémè regorge d'une variété de ressources hydrographiques dont la valorisation touristique peut booster le développement local. Mais, dans l'organisation actuelle faite du tourisme dans la région, les cours et plans d'eau sont faiblement exploités en raison de nombreuses contraintes. Il en résulte que la valorisation touristique des ressources en eau pour le développement de l'aire socio-culturelle Wémè nécessite une nouvelle pédagogie.*

Mots clés *: Valorisation - Tourisme- Développement local- Aire socio-culturelle Wémè. Wémè.*

Abstract: Analysis of the development possibilities of the Weme socio-cultural area by the tourist promotion of cultural heritage: case of water resources. *Cultural heritage supports the development of tourism. The present work aims to contribute to the development of the socio-cultural area of Wémè by better valorizing water resources for tourism. Several data are collected and tools and techniques used. Data processing was carried out and the results analysed. From the results of the investigations, it appears that the Wémè country is full of a variety of hydrographic resources whose tourism development can boost local development. However, in the current organization of tourism in the region, the rivers and bodies of water are poorly exploited due to numerous constraints. As a result, the tourist development of water resources for the development of the Wémè socio-cultural area requires a new pedagogy.*

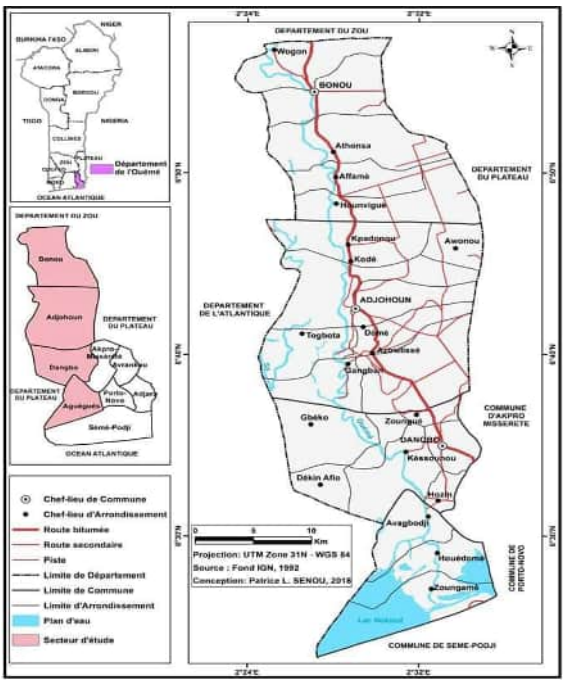
Keywords: *Valorisation - Tourism - Local development - Socio-cultural area Wémè. Wémè.*

Introduction

La voie d'eau, vouée pendant longtemps au transport des marchandises, voit ses activités se diversifier tardivement en France (Marie Madeleine Damien,1999). L'eau est à la fois un milieu fragile, et un élément majeur de détente, par la vue et par la pratique d'activités très diverses de loisirs (cabinet Alliance,2020). L'eau n'est pas simplement une composante parmi d'autres, plus ou moins inerte, des territoires : elle fait de plus en plus figure de véritable « ressource territoriale » (Gumuchian et Pecqueur, 2007), cité dans (Sylvain Rode and Mathilde Gralepois ;2019). Le tourisme se rallie au Programme d'action pour l'eau à la Conférence des Nations Unies sur l'eau 2023. (UNWTO ;2023). En Afrique, les secteurs de l'eau et du tourisme ont partie liées (CARN,2018). Dans le département de l'Ouémé, La basse vallée de l'Ouémé dispose d'un important réseau hydrographique (senou, 2023). La basse vallée de l'Ouémé est composée des cours d'eau importants qui sont exploités pour la réalisation des retenues d'eau à des fins agricoles (Mitokpè, Hounguè *et al,*2022).

Dans la valorisation des cours et plans d'eau, la venue des visiteurs contribue à la préservation des zones et à l'amélioration des conditions de vie des habitants grâce aux recettes générées par l'activité touristique. Comment valoriser du point de vue touristique les ressources en eau pour le développement de l'aire socio-culturelle Wémè ? C'est pour répondre à cette question que le présent travail de recherche est initié.

1. Présentation du secteur d'étude



De la figure1 il ressort que l'aire socio-culturelle Wémè, située dans le département de l'Ouémé, s'étend sur une superficie de plus de huit cent dix (810) km^{2}et est limitée d'une part au nord par le département du Zou, au nord - est par le département du Plateau, au sud par la commune de Semè-Podji , au sud -est par la commune de Porto-Novo ; d'autre part à l'ouest par le département de l'Atlantique et à l'est par la commune d'Akpro-Missérété

Figure1. Situation géographique de l'aire socio-culturelle *wemè*

2- Données et méthodes

2.1. Nature et source des données utilisées

Les données utilisées dans le cadre du présent travail sont relatives aux données climatiques, pédologiques, humaines, économiques, socio-culturelles et touristiques du secteur de recherche.

2.2. Collecte des données

Les méthodes mises en œuvre pour la collecte des informations ont pris en compte la recherche documentaire et les enquêtes de terrain dans l'aire socio-culturelle *Wémè*.

Les investigations sur le terrain sont faites à partir de la détermination d'un échantillonnage. Ainsi, des techniques et outils de collecte ont été utilisés. La détermination de la taille de l'échantillon a été faite suivant la formule de qui se présente comme suit :

$\beta = Z\alpha 2 \times pq/i2$ avec :

β = taille de l'échantillon (β a été déterminé pour chacune des communes) ;

$Z\alpha = 1{,}96$: écart réduit correspondant à un risque α de 5 % ;

i = précision désirée égale à 5 % selon la technique de l'INSAE ; q = 1- p ;

p = la proportion des ménages disposant de biens fonciers disposant des ressources en eau dans le secteur de recherche. Cependant, les localités qui ont des traits touristiques ont été priorisées. L'unité d'enquête choisie est le ménage. Pour les personnes enquêtées, le choix raisonné des critères celui retenu:

- Etre un acteur maitrisant les ressources en eau ;

- Etre un acteur intervenant dans la promotion du tourisme ;
- Etre un agent de développement et de conservation du patrimoine culturel dont l'eau dans l'aire socio-culturelle Wémè ;
- avoir au moins trente ans (30) et être de la localité. Cette tranche d'âge a été choisi parce que les personnes concernées sont déjà responsables, et perçoivent la nécessité de protéger les ressources en eau, en tant que biens à la fois sacrés et publics. Ainsi, 260 personnes ont été interrogées dans le cadre de la présente recherche.

En plus des 240 ménages interrogés, 20 personnes ressources ont été interrogées à raison de cinq personnes par Commune composées d'élus locaux et des ONGs dans les domaines de l'eau et du tourisme. Cet échantillon a permis de recueillir les informations socio-anthropologiques. Les différentes données ont été collectées grâce à l'utilisation des outils et techniques appropriés.

Les outils utilisés pour la collecte des données et informations sur le terrain sont : un questionnaire, un guide d'entretien, une grille d'observation, un appareil photographique, un GPS (Global Positionning System). Les techniques qui ont été mises en œuvre sont des observations directes et indirectes, la Méthode d'Investigation Répétée (MIR) et la Méthode Active de Recherche Participative (MARP).

2.2. Traitement des données et analyse des résultats

Les données collectées ont été traitées à l'aide des logiciels et des techniques appropriés. Le traitement statistique a été réalisé à l'aide du tableur Excel et le logiciel SPSS. Le logiciel Arc View 3.2 a été utilisé pour la réalisation des cartes à partir des données géo référencées.

3. Résultats

Les résultats sont structurés comme suit : l'état des lieux des ressources en eau dans l'aire socio-culturelle *Wémè*, les difficultés de valorisation touristique des ressources en eau pour le développement du milieu d'étude et les mesures pour une meilleure valorisation touristique des potentialités hydrographiques de la région *Wémè*.

3-1- Etat des lieux des ressources en eau disponibles dans l'aire socio-culturelle Wémè.

Des informations collectées, il ressort que le pays Wémè dispose d'importantes ressources en eaux de surface comme en eaux souterraines. L'eau reste un patrimoine puisque sa présence date d'une période donnée et elle à une histoire qui doit mériter d'être connue. Ces ressources en eau sont donc des attraits que le pays Wémè peut offrir aux touristes en visite de découverte.

Dans la commune de Dangbo, existent le fleuve ouémé connu sous le nom de wogbo, et ses affluents. Tokpliten, confluent du fleuve Ouémé et d'autres rivières dont Danko, est un lieu à haut risque pour les bateliers, du fait de la forte pression exercée par l'eau. La commune de Dangbo dispose également des rivières à l'instar de « Ayidégbè ». S'agissant des sources thermales, selon les travaux de la CCIB citée par Hounkonou et Sonou (2018), et repris par Huannnou (2018) , sur les quarante (40) sources recensées au Bénin, vingt-six (26) seraient dans le département de l'Ouémé, et la plus grande partie est concentrée dans la commune de Dangbo. Celles de Hetin Sota et de Gbéko sont les plus connues. Ces sources thermales sont exploitées pour la boisson et autres besoins en eau.

Dans la commune de Bonou, les enquêtes ont révélé plusieurs ressources en eaux dont la plupart sont des affluents du fleuve Ouémé. Certains au-delà de leur statut "d'eau naturelle" seraient dotés de pouvoirs mystiques. Il s'agit du cours d'eau situé à Sota dans l'arrondissement d'Affamè, des sources thermales d'Atchabita, d'Assrossa, d'Ahouanzonm, de Danxwé et la rivière d'Agoédénou à Affanmè. Cette dernière désigne un cours d'eau associé à la déesse

AgossiTonassé et a plusieurs fonctions : celle de protection de la biodiversité, et celle de régulation sociale. Dans la même commune existent le fleuve Ouémé « Wogbo » et ses affluents comme Awanou, Agbohoun, Gnahui et Zoudo.

Dans les Aguégués, en dehors du fleuve Ouémé, il existe des points d'eaux dont la petite rivière de Boé est un exemple. Pour la commune d'Adjohoun, en dehors du fleuve ouémé, il y a la source sacrée Ayionhahoué qui est le lieu de traitement du ver de Guinée. A travers la photo 1 et la planche 1, sont illustrés des ressources en eau en pays Wémè.



Photo 1. Source thermale de Hetin Sota dans la commune de Dangbo

Prise de vue : *SENOU, Juin 2019*

1a : *La source d'eau thermale d'Atchabita dans la commune de Bonou*



1b : *La rivière Tokpliten dans l'arrondissement de Gbéko*



1c : *Le fleuve Ouémé à Aguégué*



1d : *La rivière Ayidégbè à Dangbo.*



Planche 1. Ressources en eau en pays Wémè

Prise de vue : *SENOU, 2020*

La photo 1 montre la source thermale de Hetin-sota à Dangbo. S'agissant de la planche 1, la source thermale d'Atchabita illustrée en 1a, montre la sortie d'eau, coulant dans une cuvette placée pour la recueillir. Au niveau de la 1b, la place Tokpliten (lieu de rencontre des points d'eau), est présentée. Le fleuve Ouémé à Aguégué, montrée par la 1c, constitue une voie de

communication, une source de richesse pour la communauté. Comme tout fleuve, la section Aguégué du fleuve Ouémé constitue pour les Wémènou, un canal de transit aussi bien pour des personnes que pour les produits de toutes sortes, en direction de Porto novo, ou vers les autres villages enclavés de Wémè que sont : Kessounou, Wodji, Gbéko, Gangban et autres. « Pour ses besoins en eau pour les travaux d'aménagement, le Wémènou n'a pas besoin de puits », a laissé entendre une femme venue s'approvisioner en eau dans la rivière Ayidégbè montrée à travers la 1d. La richesse en eau du pays Wémè, est une opportunité pour le développement des activités touristiques nautiques dans la région.

Le réseau hydrographique de la zone d'étude est tributaire du réseau hydrographique du département de l'Ouémé, et est très riche en plans et cours d'eau constitué du cours principal du fleuve Ouémé appelé wogbo ; avec plusieurs affluents dont Zounga (18,9km),Wovi (10,2 km) , Agbagbé (7km), So-Zouvi (6,9 km). A ces derniers s'ajoutent d'autres comme Gba, Djougoudou, Tovè, Sissè, Hlan, Hounhoun, les rivières telles que : aho, gbadohoui. Aussi distingue-t-on la rivière Sô. Le fleuve Ouémé qui traverse toutes les communes de la région étudiée, constitue l'élément unificateur de la communauté Wémè.

3-2- Difficultés de valorisation touristique des ressources en eau de Wémè.

Les ressources en eau de l'aire socio-culturel Wémè, sont faiblement valorisées, surtout pour les activités touristiques. Elles concernent :

- la non navigabilité en toute saison des plans d'eau, ce qui constitue un frein pour le développement du transport fluvial, base de développement du tourisme nautique ;
- le faible aménagement du réseau hydrographique ainsi que des pistes d'accès ;
- la non disponibilité des équipements de séjours ;
- la faible communication sur les richesses en biodiversité de ces eaux, ainsi que la valeur touristique des dites eaux ;
- la désacralisation de ces plans d'eaux, situation qui facilite l'exploitation anarchique des dites eaux, créant tout sorte de pollution et autres dégradations hydriques ;
- la faible documentation dans les mairies des communes concernées, sur le réseau hydrographique ;
- la faible capacité des mairies concernées, en ressources humaines et financières, pour la conception des projets de valorisation desdits plans d'eau. Ces faiblesses méritent d'être solutionnées pour une meilleure participation du réseau hydrographique du pays Wémè, au développement touristique de la région.

3-3- Mesures pour un développement de l'aire socio-culturelle Wémè, par une meilleure valorisation touristique des ressources en eau.

La valorisation touristique des ressources en eau pour un développement de l'aire socio-culturelle de *Wémè*, passe par les propositions ci –après :

-les actions d'aménagement des ressources en eau à travers le draguage, la création des couloirs d'observation des écosystèmes disponibles ;

- la viabilisation l'éclairage des berges et pistes d'accès ;

- l'équipement par la disponibilité des gilets de sauvetage, des pirogues modernes, des appareils de surveillances des plans d'eaux et berges ;

-la mise en place de la logistique de séjour : lodges écotouristiques, reposoirs, équipements, de jeux ;

-les actions de communication sur les services ou circuits disponibles et liés à la mise en tourisme de ces plans d'eau ;

- la formation du personnel à utiliser pour les services ;

- l'association des mesures endogènes de protection du réseau hydrographique par l'implication des dignitaires du milieu.

Ces mesures prises, permettront de rendre disponibles en milieu Wémè diverses offres en termes de circuits et produits touristiques : sport nautique, transport lagunaire pour la découverte des écosystèmes du milieu, festival sur l'eau, baignade

4. Discussion

De la présente étude, il ressort que l'aire socio-culturelle *Wémè* est riche en réseau hydrographique. Ce résultat rejoint Senou (2023) qui a évoqué la richesse du réseau hydrographique du pays *Wémè*. C'est ainsi ce qu'a confirmé la base de données World Lake Database, qui a estimé que l'Afrique compte 677 lacs, dont 88 sont considérés comme de grands lacs, treize bassins fluviaux importants, 7 et des centaines de cours d'eau. Des difficultés plombent la valorisation touristique des ressources en eau de l'aire socioculturelle *Wémè*. C'est dans ce cadre que *Dossou Guy M., Joël H., Waïdi S., Placide C. (2023) a souligné que* selon 87 % des enquêtés, la basse vallée de l'Ouémé est désormais marquée par une baisse d'écoulement et un assèchement rapide des cours et plans d'eau. Ce qui réduit les rendements des cultures de décrue. Des mesures existent pour favoriser une meilleure valorisation touristique des ressources en eau de l'aire socio-culturelle Wémè.

Conclusion

L'aire socio-culturelle Wémè est riche en ressource hydrodraphique, dont la valorisation touristique peut booster le développement local. Malheureusement, de nombreuses contraintes demeurent encore, et méritent des réponses efficaces, gage du développement local.

Bibliographie

Cabinet A., (2020) : Valorisation touristique des cours d'eau ; rapport d'étude, consulté sur https://www.cabinet alliances.fr/2020/11/07/la-valorisation-touristique-des-cours-deau/?srsltid=AfmBOorikrdNJr76h697z1MHmF8CCrXIDndyUqrlbnnYv38zXaWuMmg3- ; le 11 mars 2025 à 15h56min

CARN (2018) : Tirer le meilleur profit de l'eau par le tourisme, article publié par Centre africain des ressources naturelles (CARN) EN 2018, consulté sur https://www.afdb.org/fr/news-and-events/en-afrique-les-secteurs-de-leau-et-du-tourisme-ont-partie-liees-valoriser-lun-au-profit-de-lautre-4662, le 28/03/2025.

Dossou Guy M., Joël H., Waïdi S., Placide C., (2022) : Potentialités Agro-Ecologiques et Touristiques de la Basse Vallée de l'Ouémé (Sud-Benin), article paru dans IJIPSAT Vol. 32 No. 1 April 2022, pp. 175-188 , consulté sur https://ijpsat.org › ijpsat › article › download, le 28/03/2025 à 2152 minutes.

Marie-Madeleine D., (1999) : Transports et dynamiques des territoires, paru dans Hommes et Terres du Nord, Année 1999. Numéro 4, pp. 261-270, consulté sur https://www.persee.fr/doc/htn_0018-439x_1999_num_4_1_2698 le 28 mars 2025 rs 2025 à 22heures 40 minutes.

Sènou P., (2023) : Valorisation touristique du patrimoine culturel pour le développement du pays Wémè, thèse de doctorat de géographie, UAC/ DGAT , 2023, 238p.

Sylvain R. and Mathilde G., (2019) : L'eau au service des territoires ? Entre valorisation et instrumentalisation ; article paru dans la revue Sud- Ouest Européen, no 47/2019, p.5-9, consulté sur https://doi.org/10.4000/soe.5118, le 28/ 03/2025 à 21h03.

UNWTO (2023) : Eau et développement du tourisme, acte de colloque, article consulté sur https://www.google.com/search?client=opera&q=eau+et+développement+du+tourisme&sourceid=opera&ie=UTF-8&oe=UTF-8, le 11 mars 2025 à 18h55 minutes.

AMELIORATION DES TECHNIQUES DE TRANSFORMATION DES INSECTES COMESTIBLES EN PRODUITS INNOVANTS (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

Marc SOHOUNNON [1], S.E. Racilia GANTA [2], Stéphanie CRABECK [3], Matthias GOSSELIN [3], Aimé H. BOKONON-GANTA [2] et Expédit W. VISSIN [1]

[1] Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Agence de Tourisme et d'Application (ATA), BP 2899 Abomey-Calavi, Bénin [marcsohounnon@gmail.com]

[2] Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Entomologie Agricole (LEAg), BP [shano2232015@gmail.com, aimehbg2@gmail.com]

[3] Haute Ecole Condorcet, Lab réseau ULYSSE, Laboratoire d'Entomologie, [stephanie.crabeck@condorcet.be, matthias.gosselin@condorcet.be]

Résumé *: De nos jours, la consommation des insectes comestibles s'inscrit dans une perspective d'alimentation durable et saine et qui vise à satisfaire une population sans cesse croissante, tout en préservant l'intégrité de notre environnement. Ainsi, depuis 2013, la FAO reconnaît la consommation des insectes comme une piste vers la transition protéique et une réponse à la demande croissante. Les insectes sont de plus en plus utilisés dans l'alimentation humaine et animale, offrant des avantages écologiques et nutritionnels significatifs. La richesse de la tradition de consommation des insectes révèle que 1.500 à 2.000 espèces d'insectes et d'autres invertébrés sont consommées de par le monde entier par 3.000 groupes socioculturels et/ou sociolinguistiques répartis dans 113 pays dont le Bénin. Dans une étude de cas, des grillons ont été reçus du Laboratoire d'Entomologie Agricole afin de subir une transformation en farine de grillons. Des échantillons de la farine de grillons ont été analysés dans trois différents laboratoires afin de s'assurer de la qualité des produits. La farine de grillons a été incorporée dans plusieurs recettes culinaires faciles à confectionner.*

Mots-clés : *Bénin, insectes comestibles, transformation, farine de grillons et livre de recettes*.

Abstract: ***Improving techniques for transforming edible insects into innovative products (benin, west africa).*** *Nowadays, the consumption of edible insects is part of a sustainable and healthy diet that aims to satisfy an ever-growing population while preserving the integrity of our environment. Since 2013, the FAO has recognised the consumption of insects as a path towards protein transition and a response to growing demand. Insects are increasingly being used in human and animal food, offering significant ecological and nutritional benefits. The rich tradition of insect consumption reveals that 1,500 to 2,000 species of insects and other invertebrates are consumed worldwide by 3,000 socio-cultural and/or socio-linguistic groups in 113 countries, including Benin. In a case study, crickets were received from the Agricultural Entomology Laboratory to be processed into cricket flour. Samples of the cricket flour were analysed in three different laboratories to ensure product quality. The cricket flour was incorporated into several easy-to-make recipes.*

Keywords*: Benin, edible insects, processing, cricket flour and recipe book.*

Introduction

Dans le monde, plus de 2000 espèces d'insectes comestibles sont consommées par les humains (Ramos-Elorduy 1997; Gahukar 2011; Costa Neto 2013; Rumpold et Schluter 2013a; van Huis 2013). Cette pratique reste toutefois marginale dans les pays industrialisés, particulièrement les pays occidentaux (DeFoliart, 2012). Récemment, un accroissement de l'intérêt pour les insectes comestibles survient dans les pays occidentaux (Rumpold et Schluter 2013; Halloran *et al.,* 2014).

Les insectes sont recherchés pour la nutrition humaine et animale, pour leurs composés intéressants pour l'industrie pharmaceutique et cosmétique, et le rôle qu'ils peuvent jouer dans la récupération de résidus (Srivastava *et al.,* 2008; Meyer-Rochow et Chakravorty 2013; Mlcek *et al.,* 2014). De plus, la production d'insectes à un impact environnemental moins néfaste que les productions animales traditionnelles (Premalatha *et al.,* 2011; Oonincx et de Boer 2012). La production d'un kilogramme de protéine provenant du lait, du poulet, du porc ou du bœuf engendre plus de gaz à effet de serre et requière beaucoup plus de terres arabes que pour une production de ver de farine, Tenebrio molitor (Oonincx et de Boer, 2012). Malgré le potentiel

élevé de ce secteur, plusieurs défis associés à la production de masse et à l'industrialisation de cette production restent toujours à être relevés (Rumpold et Schluter 2013a; van Huis 2013; Anankware *et al.,* 2015; van Huis *et al.,* 2015).

La consommation d'insectes est une pratique traditionnelle dans de nombreuses régions d'Afrique, notamment au Bénin, où certaines populations consomment communément des termites ailés par exemple (A.B. Gbangboché *et al.,* 2016). Cependant, la production d'insectes comestibles reste encore largement informelle au Bénin. Toutefois quelques régions au Bénin sont réputées des zones de grandes consommation mais toujours à petite échelle (Figure 1).

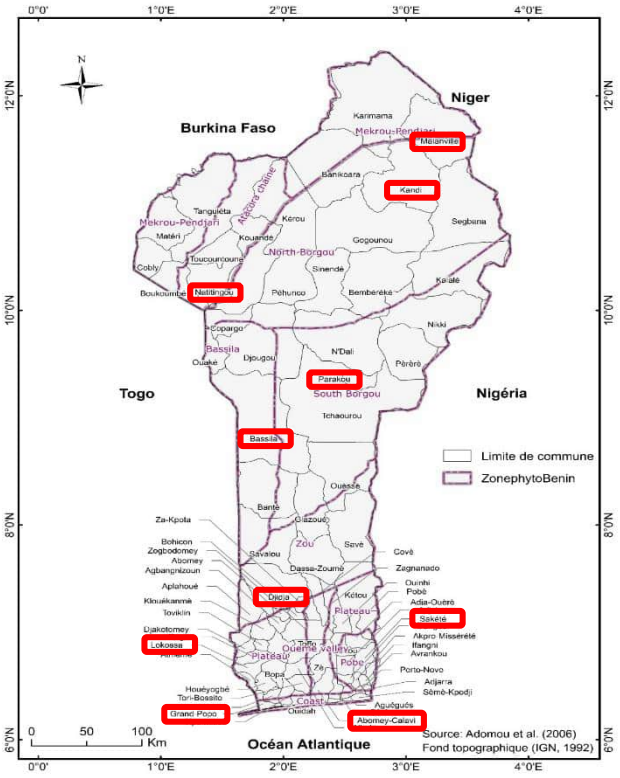


Figure 1. Situation géographique de quelques régions de consommation des insectes

1. Matériel et méthode

1.1. Zone d'étude

Plusieurs types de données ont été utilisées, il s'agit notamment de :

- Données sur l'inventaire des insectes comestibles consommés au Bénin dans les communes d'Abomey-Calavi, de Cotonou, de Sèmè-Podji, de Porto-Novo, Lokossa, et Djidja obtenu sur le terrain et dans la documentation ;

- Données sur les types de produits qu'on peut confectionner à base d'insectes comestibles pour faciliter l'acceptation de la population dans le doublet Cotonou-Abomey-Calavi ;

- données quantitatives sur l'aspect ethno culinaire des insectes comestibles dans le Benin obtenu sur le terrain et dans la documentation ;

- données socio-anthropologiques recueillies auprès des clients des restaurants et les personnes ressources sur le niveau de connaissance et de consommation des produits alimentaires à base d'insectes comestibles. Les restaurants parcourus dans le secteur d'étude sont résumés sur la figure 2.

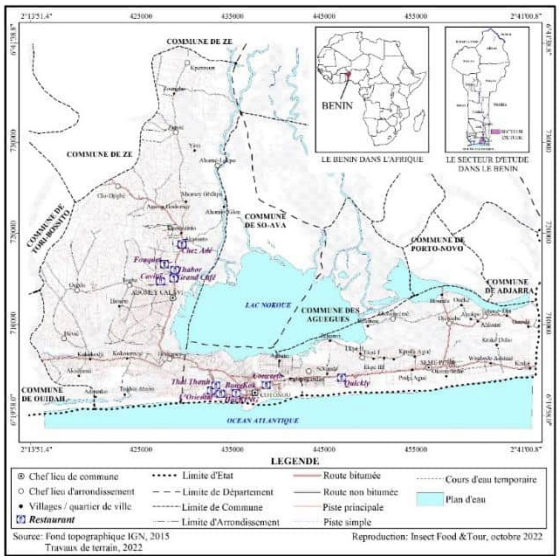


Figure 2 : Restaurants parcourus dans le secteur d'étude.

Source : Enquête de terrain, août 2022

Les données relatives au sujet de recherche ont été collectées au moyen des outils et techniques de collecte suivants : recherche documentaire, questionnaires, guide d'entretien et interviews. Il s'agit dans un premier temps des données socio-anthropologiques recueillies par les questionnaires et guides d'entretien en milieu réel à travers l'outil de collecte digitalisé kobocollect, des données quantitatives sur les populations des communes enquêtées obtenues à l'InSTaD. L'échantillonnage est de 20 % et aléatoire.

Le traitement des données a abouti au croisement des données et l'élaboration de plusieurs formes de présentation des produits finis à base d'insectes. Il a été procédé aussi à la sélection des photos illustratives. Quant aux résultats issus du traitement des données, ils concernent la description, le commentaire et l'interprétation des différentes figures, résultats d'analyses physico-chimiques et bactériologiques en vue d'évaluer la qualité sanitaire de la farine d'insecte incorporée aux aliments. Les espèces d'insectes comestibles ont été inventoriées sur le terrain en collaboration avec les populations locales qui en consomment et l'équipe de LEAg de la FSA.

De ces enquêtes socio-anthropologiques, ressort la classification des ordres d'insectes présentés dans la figure 3.

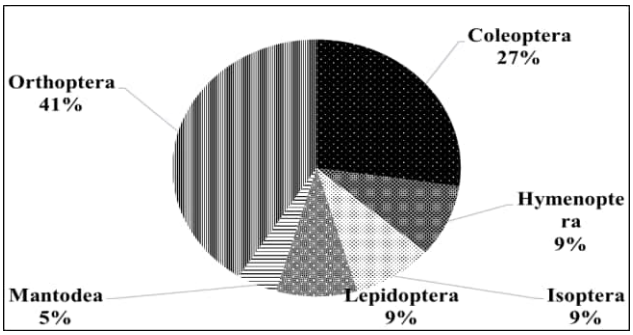


Figure 3 : Classification par ordre des insectes comestibles consommés au Bénin

Source : Enquête de terrain, 2022

La figure 3 montre qu'il existe 6 ordres d'insectes comestibles dans les zones phytogéographiques enquêtées. D'autres ordres peuvent exister sans forcément fait partie de cette classification.

2. Résultats

2.1. Formes proposées par les restaurateurs et personnes ressources

Dans l'enquête exploratoire qui consiste à prendre l'avis des promoteurs de restaurants, de maquis et personnes ressources selon qu'ils proposent des mets ou produits à base d'insectes comestibles, 100 % ont donné une réponse négative, donc ne confectionnent aucun plat à base d'insectes comestibles. Par ailleurs, leurs avis sont partagés s'ils veulent bien en proposer et sous quelle forme. La figure 4 montre les différentes propositions.

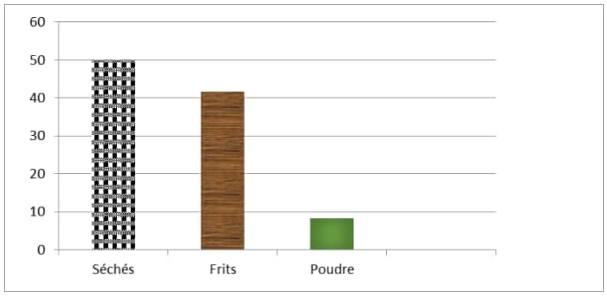


Figure 4. Avis sur les formes de présentations des produits

Source : Enquête de terrain, aout 2022

D'après la lecture de la figure 4, les restaurants concernés ne proposant pas de plats à base d'insectes comestibles font pour quelques-uns parmi eux proposent la forme séchée, frite et assaisonnée de l'insecte. Ces premières réponses (soient environ 90 %) proviennent des personnes ressources qui viennent des pays de l'hinterland et qui en mangent déjà. Les restaurateurs béninois proposent la forme en farine.

2.2. Insectes fréquemment consommés au Bénin

Pour la multitude d'insectes comestibles, certains ne sont pourtant pas équitablement répartis. C'est le cas du Bénin (figure 5).

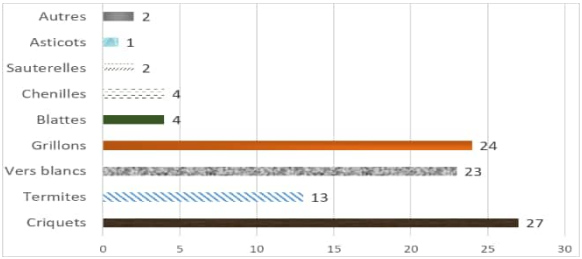


Figure 5. Insectes comestibles au Bénin

Source : Enquête de terrain, aout 2022

De l'analyse de la figure 5, nous remarquons que les criquets sont les plus consommés avec 27 %, suivi des grillons (24 %). Viennent respectivement les vers blancs (23 %), les termites (13 %), les blattes et chenilles (4 %), les sauterelles (2 %), les asticots et autres (1 et 2 %). C'est donc à travers cette classification et compte tenu des avis de la population cible sur la texture, la couleur et le goût que le choix est porté sur les grillons. Toutes les recettes qui seront présentées dans ce travail est fait à base de grillons domestiques (*Acheta domesticus*). Mais avant que ces produits soient soumis à la consommation, des tests organoleptiques ont été faits ainsi que des analyses de laboratoire.

2.3. Mets proposés à base de farine de grillons

Plusieurs recettes africaines (planche 1) et particulièrement béninoises ont été confectionnées avec des chefs cuisiniers béninois.



Planche 1 : Quelques plats confectionnés

Prise de vue : ATA, aout à déc 2023

La planche 1 présente plusieurs mets à base d'insectes comestibles. La photo 1.1 présente un plat local du nord appelé toubani. Ce mets est un plat très aimé par une bonne catégorie des peuples du nord car il est confectionné à base du haricot en tant que matière principale. Quand les populations mangent ce plat le matin, elles peuvent ne plus manger et travailler le champ jusqu'à la tombée de la nuit. Enrichir ce plat en farine de grillons apportera non seulement de la protéine végétale mais aussi un peu de protéine animale. La photo 1.2 présente un groupe de visiteurs venu tester les mets à base de la farine de grillons. Plusieurs plats sont présentés à cet effet, il s'agit de la sauce gbékouin, de friture de tomate enrichie à la farine de grillons, et sauce tomate accompagné du riz, de la pâte noire et blanche, du pain comme plats de résistance. En entrées, il est prévu du coulibiac au grillons et au dessert, de la crêpe. Quant à la photo 1.3, elle montre des crêpes et des gaufres destinées pour les desserts. Enfin la photo 1.4 présente un plat de risoto aux grillons visibles très apprécié par les communautés de l'Afrique centrale vivant au Bénin.

2.4. Mise en place d'un circuit ethno-culinaire sensible à l'entomophagie



Figure 6. Circuit ethnoculinaire et **planche 2** : Atelier de dégustation culinaire avec la population

Dans la perspective d'impliquer tous les acteurs, les professionnels du tourisme, la jeunesse et la population en générale, un circuit touristique est confectionné afin de faire participer et d'impliquer toutes les cibles. Dans ce circuit, est mis en exergue, la consommation des vers blancs (figure 6 et planche 2).

Remerciements

Nous remercions toutes les personnes qui ont œuvré de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet. Toute notre gratitude au partenaire financier (WBI) et l'équipe projet.

Bibliographie

A.B. GBANGBOCHE, B.A.C. TOGNIBO, P. KAYODE, E.T. ZANNOU et J.T.C. CODJIA, Croissance et valeur alimentaire des larves de Oryctes monoceros, Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(3): 983-992, June 2016

Anankware, Jacob & Fening, Ken & Osekre, Enoch & Obeng-Ofori, D.. (2015). Insects as food and feed: A review. International Journal of Agricultural Research and Review. 3. 143-152.

Cicatiello, C., Rosa, B.G., Franco, S.D. et Lacetera, N. (2016). Approche des consommateurs à l'égard des insectes en tant qu'aliments : obstacles et potentiel de consommation en Italie. Journal britannique de l'alimentation, 118, 2271-2286.https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.010.

DeFoliartG.2012.Thehumanuseofinsects asafood resource: a bibliographic account in progress. http://www. food-insects.com

Halloran A, Vantomme P, Hanboonsong Y, Ekesi S (2015) Regulating edible insects: the challenge of addressing food security, nature con servation, and the erosion of traditional food culture. Food Sec 7: 739–746. doi:10.1007/s12571-015-0463-8

Halloran, A., Vantomme, P., Hanboonsong, Y., & Ekesi, S. (2015). Regulating edible insects: the challenge of addressing food security, nature conservation, and the erosion of traditional food culture. Food Security, 1–8. http://doi.org/10.1007/s12571-015-0463-8

Meyer-Rochow, V.B., Chakravorty, J. Notes sur l'entomophagie et l'entomothérapie en général et informations sur la situation en Inde en particulier. Appl Entomol Zool 48, 105 à 112 (2013).

Oonincx DGAB, de Boer IJM (2012) Environmental Impact of the Production of Mealworms as a Protein Source for Humans– A Life Cycle Assessment. PLoS ONE 7(12): e51145. doi:10.1371/journal.pone.0051145

Premalatha, M.; Abbasi, T.; Abbasi, T.; Abbasi, S.A.; Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: the use of edible insects. Renewable and Sustainainable Energy Reviews 2011, 15(9), 4357–4360.

Ramos-Elorduy, J., 1997. Les insectes : une source durable de nourriture ?. Ecol. Food Nutr., 36 (2-4) : 247-276

Rumpold BA, Schlüter OK. Composition nutritionnelle et aspects de sécurité des insectes comestibles. Mol Nutr Food Res. mai 2013 ; 57(5):802-23. DOI : 10.1002/mnfr.201200735. Epub 8 mars 2013. PMID : 23471778

Rumpold, B.A.; Schluter, O.K. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. Molecular Nutrition & Food Research 2013, 57, 802–823.

Srivastava, P. (2008). The shadow institutional framework: Towards a new institutional understanding of an emerging model of private schooling in India. Research Papers in Education, 23(4), 451-475

UNICEF, Rapport annuel 2013, Juin 2014, Code ISBN : 978-92-806-4755-6

van Huis, A. 2005. Insects eaten in Africa (Coleoptera, Hymenoptera, Diptera, Heteroptera, Homoptera). In M.G. Paoletti, ed. Ecological implications of minilivestock, pp. 231–244. New Hampshire, USA, Science Publishers

van Huis, A.; Van Itterbeeck, J.; Klunder, H.; Mertens, E.; Halloran, A.; Muir, G.; Vantomme, P. Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2013.

Wim Verbeke, Profiling consumers who are ready to adopt insects as a meat substitute in a Western society, Food Quality and Preference, Volume 39, 2015, 147-155, ISSN 0950-3293, https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.07.008.

ETUDE D'AMENAGEMENT ET VALORISATION DU TOURISME ORNITHOLOGIQUE FACE A LA SITUATION CLIMATIQUE DE LA PARTIE OUEST DE MADAGASCAR

Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY [1], Rindramampionona Fanambinantsoa Ankasitrahana RANDRIAMIFIDISON [2], Sylvana TOMBOANONA [3] et Vololomboahangy RANDRIANJAFY RASOLOARISOA [4]

1. Faculté des Sciences de Technologie et Environnement/ École Doctorale sur les Écosystèmes naturels Université de Mahajanga, Madagascar, ASITY Madagascar, Ligue Malgache pour la protection des Oiseaux à Madagascar. Antananarivo 101 Madagascar, ttjorlin@yahoo.fr / +261322117675

2 Institut Supérieur de Technologie d'Ambositra, Madagascar, rindrarandriamifidison@yahoo.fr/ +261341550438

3 et 4. Faculté des Sciences de Technologie et Environnement/ École Doctorale sur les Écosystèmes naturels Université de Mahajanga, Madagascar, tomboanona@gmail.com / +261324520680. lobo.voahangy@gmail.com / +261324074781

Résumé *:La partie ouest de Madagascar est un vaste réservoir de l'avifaune malgache et offre d'excellentes occasions pour le birdwatching. Notre objectif est de valoriser cette richesse tout en considérant l'effet de la fluctuation et du changement climatique qui freinent le développement de ce secteur. L'approche consistait à faire des enquêtes, évaluer la richesse spécifique et la répartition des oiseaux à attrait touristiques, collecter et évaluer les données et les conditions climatiques et météorologiques favorables au tourisme ornithologique. Les résultats ont montré que l'aménagement consiste à mettre en place les organisations sur site tout en impliquant davantage la population locale pour qu'au fil du temps, la région ouest devienne un coin rêvé et incontournable des amoureux des oiseaux. Pourtant, la difficulté d'accès dans plusieurs sites mérite une alternative d'amélioration et d'une organisation bien adaptée à sa situation climatique pour garantir la satisfaction des touristes.*

Mots-clés : *Tourisme ornithologique, Climat, aménagement, Madagascar*

Abstract :*The western part of Madagascar is a vast reservoir of Malagasy birdlife and offers excellent opportunities for birdwatching. The aim of this project is to make the most of this richness, while considering the effect of climate fluctuation and change, which are hampering the development of this sector. The approach consisted in carrying out surveys, assessing the species richness and distribution of birds with tourist appeal, collecting and evaluating data and climatic and meteorological conditions favourable to birdwatching tourism. The results showed that the plan was to set up on-site organizations and get the local population more involved, so that over time, the western region would become a dream location for bird lovers. However, the difficulty of access to many of the sites merits an alternative improvement and an organization well adapted to its climatic situation to guarantee tourist satisfaction.*

Keywords : *Birdwatching tourism, Climate, planning, Madagascar*

Introduction

Il est largement reconnu que Madagascar est l'un des pays ayant une biodiversité globalement exceptionnelle avec un taux important d'endémicité (**Myers et al. 2000**). Récemment, il est encore classé parmi les 25 premiers pays les « hotspots » au monde. Madagascar représente un endroit propice au dépaillassent total et à la découverte d'autres cieux. Il mise plutôt sur sa nature de paysage somptueux et dispose d'une grande variété d'écosystème, d'une diversité biologique riche et exceptionnelle. Sa précoce séparation du continent Africain, datant 165 millions d'années, explique la grande diversité de sa Faune et de sa Flore (**Mittermeier *et al.* 2004**). Quant à la richesse ornithologique, le projet **ZICOMA (1999)** a pu identifier 84 Zones Importantes pour la Conservation des Oiseaux (ZICO) dans la grande île. Par ailleurs, Madagascar s'étend dans la zone tropicale. Le climat est ainsi caractérisé par une alternance de deux saisons bien distinctes, la saison d'été et d'hiver, à cause de l'influence de l'Alizée du Sud-Est et de la Mousson du Nord-Ouest (**Goodman & Jonathan, 2003**). La partie ouest de Madagascar appartient à la zone de l'étage sec selon la classification du **Cornet (1974)**. Il présente une alternance de saison sèche marquée de sept mois, s'étalant

du mois de mai à novembre, avec une saison pluvieuse plus courte de cinq mois, de décembre au mois d'avril (**Tsiavahananahary, 2018**). A cet effet, cette étude va amener la vision au développement du secteur tourisme dans la partie ouest de Madagascar notamment, le Distrcit de Mitsinjo, face à la fluctuation climatique qui conditionne sa vulgarisation. Les objectifs spécifiques de cette étude consistent à évaluer les potentialités touristiques et éco touristiques de la partie Ouest de Madagascar, cibler les sites à vocation touristique, déterminer les besoins en infrastructure d'accueil de chaque site, analyser la rentabilité et l'avenir de l'activité touristique, éclaircir les espèces d'oiseaux à attrait touristique et proposer des idées de vulgarisation face à la situation climatique de cette zone.

1. Données et Méthodes

1.1. Présentation des zones d'études

Cette étude a été effectué dans le District de Mitsinjo, localisé sur la partie littorale Nord-Ouest de Madagascar dans la Région Boeny (Fig1). Il se positionne dans la partie Sud-Ouest de la Région Boeny, entre 16° 0′ 0″ latitude Sud et 45° 52′ 0″ longitude Est. Elle est séparée de la capitale de la Région Boeny (ville de Mahajanga) par la Baie de Bombetoka d'une distance d'environ 09,6 km de long. Par rapport à Antananarivo, la capitale de Madagascar, Région Boeny se trouve à une distance d'une route national RN4 d'environ 571 km^2 depuis la ville de Mahajanga. Le site abrite trois aires protégées complexes allant du Complexe Mahavavy-Kinkony, le site Bioculturel Antrema et la Baie de Bombetoka. Elles sont caractérisées par leurs richesses en monuments, en biodiversité exceptionnelle de l'ouest de Madagascar et surtout le paysage des oiseaux à attraits touristiques tels que les espèces nicheuses, endémiques et les colonies des espèces migratrices. L'accès aux sites est conditionné par les faits climatiques dont l'accès par voies terrestres est presque impraticable pendant la saison pluvieuse

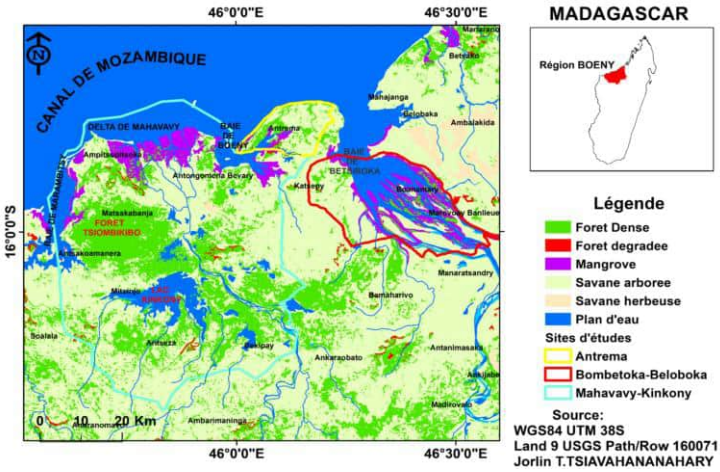


Figure 1 : Localisation des sites ornithologiques, nord-ouest de Madagascar

1.2. Collecte des données socioéconomiques, touristiques et la richesse ornithologique

Les données pour l'aménagement touristique et vulgarisation de cette potentialité sont issues de descentes sur terrain pour identifier les sites à haute potentialité touristiques, les oiseaux à attraits touristiques, les sites historiques et culturels, les infrastructures d'accueil ainsi que la faisabilité d'aménagement touristique. L'enquête socioéconomiques aux niveaux des paysans dans les côtes ouest, l'office du tourisme Boeny appuyé par la constatation sur terrain ont été faites pour identifier la réussite et les difficultés cadrer dans le développement touristique des sites cibles. L'analyse sur terrain du dynamisme spatiotemporel des habitats naturels, les chemins d'accès, les infrastructures d'accueil touristique face aux déséquilibres saisonniers, l'inondation et la sècheresse a été aussi faite durant cette expédition. Nous avons procédé également a de suivi régulier des oiseaux, de leurs vulnérabilités dans ses habitats naturels, identifier les sites pour diversifier les activités de Birdwatching, évaluer l'impact

de l'ancien événement « Safari des oiseaux de Mahajanga » dans le développement local et déterminer l'option de pérennisation de ces activités dans le cadre d'alternative liée à la variation climatique.

1.3. Collecte des données climatiques

L'accès aux données climatiques s'est effectué via la plateforme ClimatsSud développé par l'Institut de Recherche pour le Développement. Ce sont des données spatialisées avec une résolution de 1 à 10 km. Les données sont disponibles pour la période entre 1950 et 2100. Dans le cadre de ce travail, les données historiques traitées concernent la période entre 1993 et 2023 et 2024 à 2100 pour la projection future. Les variables choisis parmi ceux proposés sont ceux qui nous permettent d'atteindre les objectifs de cette recherche, dont la température moyenne, la précipitation moyenne mensuelle. Les nombres de jours avec une précipitation supérieure à 10 mm (fortes précipitations) et supérieure à 20 mm (précipitations intenses) ont été considérées pour pouvoir prévoir des risques d'inondation. Les données sont issues du CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) qui sont les plus récentes données de modèles climatiques mondiaux disponibles. Scientifiquement robustes, ces données constituent la base des rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (**Thrasher & al, 2022**). 2 scenarii ont été considérés, ssp245 et ssp 85. Notons que SSP585 est le scénario d'émission le plus élevé et le scénario SSP245 représente un scénario d'émission moyen (**O'Neill &al, 2016**). Ces scenarii proposent chacun 22 modèles, et la moyenne a été prise pour chaque variable considéré. Les données sortent en format csv et traitées sous-Excel selon le besoin.

2. Résultats

2.1. Richesse ornithologique et sa valorisation touristique dans la partie ouest de Madagascar

- *Richesse en oiseaux à attrait touristique*

Dans la partie ouest de l'île, les trois aires protégées dans le district de Mitsinjo notamment, le Site Bioculturel d'Antrema, la Baie de Bombetoka-Belemboka ainsi que le Complexe Mahavavy-Kinkony, sont parmis les zones importantes pour la conservation des oiseaux (ZICO) et abritent respectivement 107,111 et 161 espèces d'oiseaux qui se répartissent en oiseaux forestiers et aquatiques. Dans ces trois zones, toutes les espèces aquatiques endémiques et menacées de l'ouest de l'île sont présentes à savoir le Piguargue de Madagascar *Haliaetus vociferoides* (CR), l'ibis sacré de Madagascar *Threskiornis bernieri* (EN), le crabier blanc de Madagascar *Ardeola idae* (EN), la sarcelle de Bernier *Anas bernieri* (EN), le héron de Humblot *Ardea humbloti* (EN), Pluvier de Madagascar *Charadrius thoracicus* (VU) et le râle d'Olivier *Zapornia olivieri* (EN). Cette dernière se trouve uniquement dans le Lac Kinkony ; De plus, les zones côtières reliant les trois zones sont des sites d'accueil de certaines espèces d'oiseaux marins et plusieurs espèces migratrices entre autres les colonies de sterne *Thalasseus bergii* et *T. bengalensis* (LC), les flamants roses *Phoenicopterus ruber* (LC) et *Phoeniconaias minor* (NT) ainsi que les limicoles regrouper dans les familles de Scolopacidae et Charadriidae. Quant à la forêt, la famille endémique de Madagagascar, Vangidae comme le Vanga Bleu *Cyanolanius madagascarinus*, Vanga de Damier *Xenopirostris damii*, les rapaces comme le Buse de Madagascar, *Butéo Brachypterus*, le faucon *Falco zoniventris, et Accipiter henstii* sont parmi les oiseaux forestiers à attrait touristique de cette zone.

- *Habitats et paysages d'intérêts touristiques*

Les paysages forestiers et les différents îlôt forestiers permettent de réaliser le Birdwatching dans la partie ouest de Madagascar dont la forêt dense sèche de la Baie de Bombetoka, la forêt Ampapamena et Ambanjabe et Antrema et surtout la forêt dense sèche de Tsiombikibo, Marofandroboka, Katondra et Anjiamaloto pour le Complexe Mahavavy-Kinkony, sont les plus répandues ; Quant aux zones côtières, la Baie de Bombetoka à laisser une vaste de banc de sable

et vasière pour les oiseaux aquatiques, entourer par une dizaine d'îlots à *Avicennia marina* montrant un paysage attractif , on peut citer la présence des colonies de flamants , les sternes les pluviers et autres limicoles ainsi que l'observation de Sarcelle de Bernier, Héron de Humblot. Ensuite, la plage et le mangrove d'Antrema favorise la répartition des limicoles et les espèces endémiques menacées comme le Pygargue de Madagascar et l'Ibis sacré de Madagascar. Les Côtes du Complexe Mahavav- Kinkony, sont les plus grandes zones abritant au moins 64 espèces aquatiques suivant l'embouchure de Mahavavy, le Delta de Mahavavy, la baie de Boeny et Baie de Marambitsy, le Pluvier de Madagascar, le Heron Crabier Blanc de Madagascar ainsi que les oiseaux marins comme les grandes colonies de sternes, les flamants, les hérons sont les plus répandus, le râle d'olivier ne se trouve que dans un site spécifique du grand lac Kinkony. Suivant la richesse, c'est le Delta Mahavavy du qui détient les plus vastes vasières qui abritent des milliers de Flamant roses (*Phoenicopterus ruber* et *Phoeniconaias minor*), le Sterne entre autres *Thalasseus bengalensis*, *T. bergii*, les espèces migratrices comme *Limosa sp*, *Calidris sp* et *Charadrius sp.* Les espèces grégaires *Platalea alba* et *Mycteria ibis* et les espèces endémiques comme *Anas bernieri* (EN) *Threskiornis bernieri* (EN) *Ardea humbloti* (EN). A part des zones de birdwatching habituels, plusieurs îlots culturelles et historiques se trouvent dans les zones lacustres et surtout les zones côtières de cette partie ouest de Madagascar :

L'îlot d'Antsoheribory est un ilot historique depuis XIII^{ème} siècle au sein de la Commune d'Antongomena Bevary notamment dans la baie de Boeny, avec une superficie de 70 ha, il était une des capitales historiques du peuple Antalaotra, comportant des vestiges de constructions datant de ces époques et les reliques des Arabes islamisés ayant occupé cette île dans les tombes quasi-intactes.

Par ailleurs, l'îlot Makamby est un ilot historique et sacré, située proche de la localité de Morafeno kingany et Ankily (entre la baie de Boeny et Delta de Mahavavy. Cet îlot est un endroit que les anciens Arabes ont traversé il y a longtemps, après qu'ils se soient installés sur l'îlot d'Antsoheribory. L'écotourisme peut jouer un rôle important dans la protection des espèces d'oiseaux marins qui nichent et se reproduisent sur cette ile.

Le cap Tanjona, qui est un paysage géologique merveilleux et d'une belle plage aux sable d'Ambonara. Une baignade et une pêche peuvent se faire sur la plage. Et depuis le haut du cap Tanjona, l'administration du coucher du soleil est très favorable. Il est constitué par un paysage de palmier et plante médicinale ; l'observation des lémuriens et le Doany. Enfin, Le site de Marandravy est un îlot à *Borassus madagascariensis* qui assure la protection des espèces à haute rôle écologiques comme les chauves-souris ou Chiroptères.

- *Tourisme et vulgarisation des oiseaux à attrait touristique*

Les aires protégées de Bombetoka et du Complexe Mahavavy-Kinkony (CMK) constituent des pôles émergents pour le tourisme ornithologique, avec des infrastructures gérées par des associations locales. Ces sites proposent déjà des bungalows d'hébergement, une restauration locale et des circuits en pirogue accompagnés par des guides locaux. Cependant, la fréquentation reste inégale, avec des sites comme Ampitsopitsoka ou Makary encore peu visités malgré leur potentiel.

Les initiatives communautaires jouent un rôle clé dans ce développement, comme en témoignent le "Safari des oiseaux de Mahajanga" et la participation à la Journée mondiale des oiseaux migrateurs. Ces activités, combinées à l'amélioration progressive des infrastructures (blocs sanitaires, équipements de sécurité), positionnent l'écotourisme ornithologique comme une solution prometteuse pour concilier développement économique et conservation de la biodiversité dans le district de Mitsinjo.

2.2. Données climatiques liées au développement touristique de l'ouest de Madagascar

Le district de Mitsinjo connaît des modifications climatiques marquées avec une augmentation thermique de 0,4°C sur les deux dernières décennies accompagnée d'une régression pluviométrique mensuelle, exception faite des mois de novembre et mars. La dernière décennie a enregistré entre 13 et 15 jours annuels de précipitations intenses dépassant 20 mm.

Les projections climatiques jusqu'en 2099 révèlent des évolutions différenciées selon les scénarios. Concernant les précipitations, le scénario SSP4 5 maintient une relative stabilité tandis que le SSP8 5 montre une instabilité croissante avec des épisodes secs fréquents après 2045.

L'analyse thermique indique une hausse graduelle dans tous les scénarios, variant de 30,1°C pour le SSP2 6 à 30,4°C pour le SSP8 5 en 2099, soit un écart maximal de 0,3°C entre les trajectoires extrêmes. Ces données soulignent l'influence déterminante des politiques d'émissions sur le climat futur de la région.

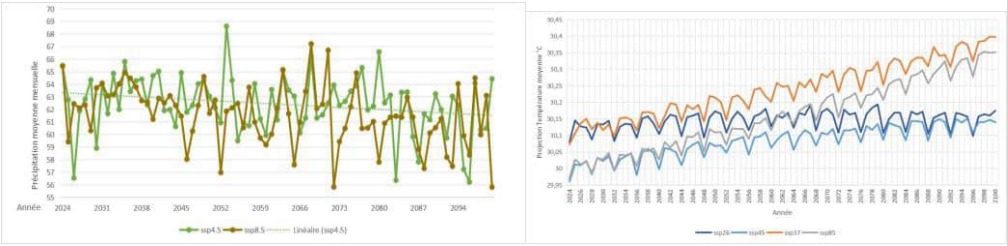


Figure 2,3 : Projections climatiques liées à la variation de température et précipitation dans le district de Mitsinjo, Ouest de Madagascar (2024 – 2100) (IRD, 2025)

Entre 2024 et 2099, le nombre de jours avec précipitations intenses (> 20 mm) (fig 4) varie en moyenne autour de 13 à 15 jours par an pour le scénario ssp45, avec une légère tendance à la hausse indiquée par la droite linéaire. En revanche, le scénario ssp85 montre de fortes fluctuations, atteignant des pics jusqu'à 32 jours (vers 2066) et des minimums proches de 0, traduisant une variabilité beaucoup plus importante d'une année à l'autre. Ces jours pourraient correspondre à des cyclones et pourrait impliquer des risques d'inondations, ce qui affecterait les activités écotouristiques pour l'ensemble de la zone entre autres l'accès aux sites, la sécurité humaine, la vulnérabilité des infrastructures d'accueil.

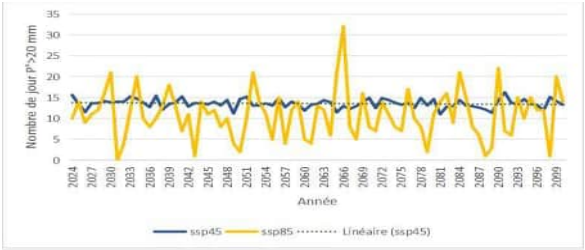


Figure 4 : Nombre de jours avec précipitations supérieures à 20 mm

3. Discussion

La région de Mitsinjo, abritant plus de 160 espèces d'oiseaux dont des espèces endémiques menacées comme l'Aigle pêcheur de Madagascar Haliaeetus vociferoides (CR), l'Ibis sacré de Madagascar Threskiornis bernieri (EN) et la Marouette d'Olivier Zapornia olivieri (EN) autour du Lac Kinkony, représente un hotspot pour le tourisme ornithologique. Cependant, selon les projections CMIP6 (scénarios SSP4.5 et SSP8.5), cette biodiversité aviaire exceptionnelle fait face à des perturbations climatiques croissantes.

Les données scientifiques prévoient une augmentation de 0,3°C de la température moyenne annuelle d'ici 2100, accompagnée d'une variabilité accrue des précipitations. Le scénario

SSP8.5 anticipe notamment plus de 30 jours annuels de pluies intenses (>20 mm) vers 2066, augmentant les risques d'inondations et d'érosion qui pourraient rendre inaccessibles de nombreux sites d'observation pendant la saison humide. Cette situation exige une approche intégrée combinant l'aménagement d'infrastructures résilientes, le développement de voies d'accès alternatives, la formation et l'implication des communautés locales et la sélection et la protection des sites à haute valeur ornithologique

Comme le démontrent les études récentes sur les scénarios climatiques (CMIP6), cette stratégie d'adaptation pourrait transformer le tourisme ornithologique en un moteur de développement durable, tout en renforçant la conservation des espèces menacées et la sensibilisation aux enjeux climatiques dans cette région au patrimoine naturel exceptionnel.

Conclusion

La diversité aviaire de l'ouest malgache constitue un potentiel important pour l'écotourisme, mais sa préservation nécessite une approche adaptative face aux changements climatiques. L'augmentation des températures et la variabilité pluviométrique menacent directement les habitats aviaires, exigeant des mesures intégrées combinant conservation et développement local.

Le tourisme ornithologique, s'il est bien structuré, peut générer des revenus durables tout en renforçant l'implication des communautés dans la protection des écosystèmes. Cela implique un suivi scientifique continu des populations d'oiseaux couplé à une surveillance climatique, des infrastructures écologiques adaptées (chemins drainants, plateformes sur pilotis), une gouvernance participative incluant la formation des guides locaux.

La gestion saisonnière des flux touristiques, basée sur les prévisions météorologiques, et la création de comités locaux de gestion permettront de concilier préservation de la biodiversité, résilience des écosystèmes et développement économique. Cette approche intégrée représente la clé pour valoriser durablement ce patrimoine naturel unique face aux défis climatiques croissants.

Remerciements : ASITY Madagascar ; FSTE/EDEN ; Madame le Docteur RANDRIAMIFIDISON Rindramampionona ; Monsieur le Professeur Expédit et tous les organisateurs du colloque de l'AIC-2025 à Cotonou Benin

Bibliographie

Goodman, Steven P. & Benstead Jonathan P., 2003. The natural history of Madagascar. The University of Chicago Press, Ltd., London.

O'Neill BC, Tebaldi C, Van Vuuren DP, Eyring V, Friedlingstein P, Hurtt G, Knutti R, Kriegler E, Lamarque JF, Lowe J, Meehl GA (2016) The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. GMD 9(9) :3461–3482

Thrasher, B., Wang, W., Michaelis, A. et al. NASA Global Daily Downscaled Projections, CMIP6. Sci Data 9, 262 (2022). https://doi.org/10.1038/s41597-022-01393-4

Tsiavahananahary T.J, Randrianjafy V. & Andriamasimanana R., 2017. Identification des sites potentiels de reproduction et nidification des oiseaux aquatiques dans l'AP CMK. Acte de forum de la recherche sur la Biodiversité et les Objectifs du Développement Durable, 14 au 17 juin 2017, Antananarivo, Madagascar, 289 - 295.

Tsiavahananahary T.J., 2018. Biologie de la conservation des oiseaux aquatiques de l'Aire protégée Complexe Zones humides Mahavavy-Kinkony. Thèse de Doctorat, Université de Mahajanga, Madagascar, 234p.

Tsiavahananahary T. J., 2019. Paysage ornithologique des zones côtières de la Région Boeny et valorisation touristique, cas de l'Aire Protégée Complexe Mahavavy-Kinkony (AP CMK). Présentation orale (Conférence), Safari des oiseaux de Mahajanga, Edition IV-2019. Sterna benghalensis octobre 2019 à l'ORTB Mahajanga, Madagascar

VALORISATION DES POTENTIALITES TOURISTIQUESET PROPOSITION D'UNE APPROCHE STRATEGIQUE DANS LA VILLE DE DJOUGOU

Expédit Wilfrid VISSIN [1,2], Nelly KELOME[3], N. Patrice Maximilien BOKO[1,2], et Kannayi Frédéric LODOUHOUÉ[1,2]

[1]*Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, BP 1338*

[2]*Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey Calavi, B.P 526 ;*

[3]*Faculté des Sciences Technique, Université d'Abomey-Calavi*

Courriel : exlaure@gmail.com, boko2za@gmail.com, lodoufred@gmail.com,

Résumé : *Cette étude vise à valoriser les atouts culturels et naturels de la ville de Djougou en promouvant un tourisme durable. Une enquête de terrain, appuyée par des entretiens et des observations, a été menée auprès de 80 personnes. Les résultats révèlent un riche patrimoine local largement ignoré et non exploité à des fins touristiques. Parallèlement, la population fait face à de graves difficultés : pollution, pauvreté, insécurité alimentaire et délaissement des biens culturels. Le tourisme durable apparaît alors comme une solution stratégique pour améliorer le cadre de vie, protéger l'environnement et stimuler le développement local. La stratégie proposée comprend l'analyse des enjeux, la définition d'objectifs clairs, et la mise en œuvre de politiques adaptées. Ce processus vise à transformer Djougou en un pôle touristique responsable et inclusif.*

Mots clés : *développement, tourisme durable, potentialités, approche stratégique*

Abstract: *This study aims to enhance the cultural and natural assets of the city of Djougou through the promotion of sustainable tourism. A field survey, based on interviews and direct observation, was conducted with 80 participants. The findings reveal a rich but largely unknown local heritage that remains untapped for tourism purposes. Meanwhile, the population faces serious challenges: environmental pollution, poverty, food insecurity, and neglect of cultural assets. Sustainable tourism thus emerges as a strategic solution to improve living conditions, protect the environment, and boost local development. The proposed strategy includes context analysis, clear objective setting, and the implementation of appropriate policies. This process seeks to transform Djougou into a responsible and inclusive tourism hub.*

Keywords*: development, sustainable tourism, potentialities, strategic approach.*

Introduction

Au Bénin, le tourisme a longtemps été marginalisé dans les politiques de développement CAPO-CHICHI, 2015). Depuis les années 1990, le pays s'est engagé dans un processus de décentralisation qui a conféré une autonomie financière aux communes. Cela oblige les collectivités locales à exploiter leurs ressources endogènes, dont les potentialités touristiques. Dans ce contexte, le tourisme est progressivement perçu comme un levier de développement local (D'ALMEIDA et TCHAWLASSOU, 2006, p 111).

Dans le département de la Donga, la commune de Djougou dispose d'un important patrimoine naturel et culturel. Elle est caractérisée par un climat tropical de type soudano-guinéen, avec une saison pluvieuse (mai à octobre) et une saison sèche (novembre à avril), ce qui influence directement l'accessibilité des sites et la planification des activités touristiques. Les variations climatiques conditionnent la fréquentation des sites, en particulier les sites naturels sensibles à la saisonnalité (pistes inondées, routes non praticables, etc.). Intégrer cette dimension climatologique dans l'analyse du tourisme permet de proposer des stratégies plus résilientes et adaptées au territoire.

Cependant, malgré ces richesses, le tourisme à Djougou peine à décoller. Cette commune est confrontée à plusieurs défis : pauvreté, pollution, insécurité alimentaire, disparition de biens culturels, prostitution infantile, etc. Par ailleurs, le diagnostic national du secteur touristique via

le Programme d'Action du Gouvernement (PAG) fait état d'une faible valorisation des sites, d'un manque de stratégie de promotion, et d'un déficit de professionnalisme.

1. Présentation du milieu d'étude

La commune de Djougou est située dans la partie septentrionale au Nord-ouest du Bénin dans le département de la Donga. Elle a une superficie de 3 966 km², et est à une distance de 461 km environ de Cotonou, capitale économique du Bénin. Elle partage ses frontières au Nord, avec les communes de Kouandé et de Péhunco, au Sud, avec la commune de Bassila, à l'Est, avec les communes de Sinendé, de N'Dali et de Tchaourou et à l'Ouest avec les communes de Copargo et de Ouaké.

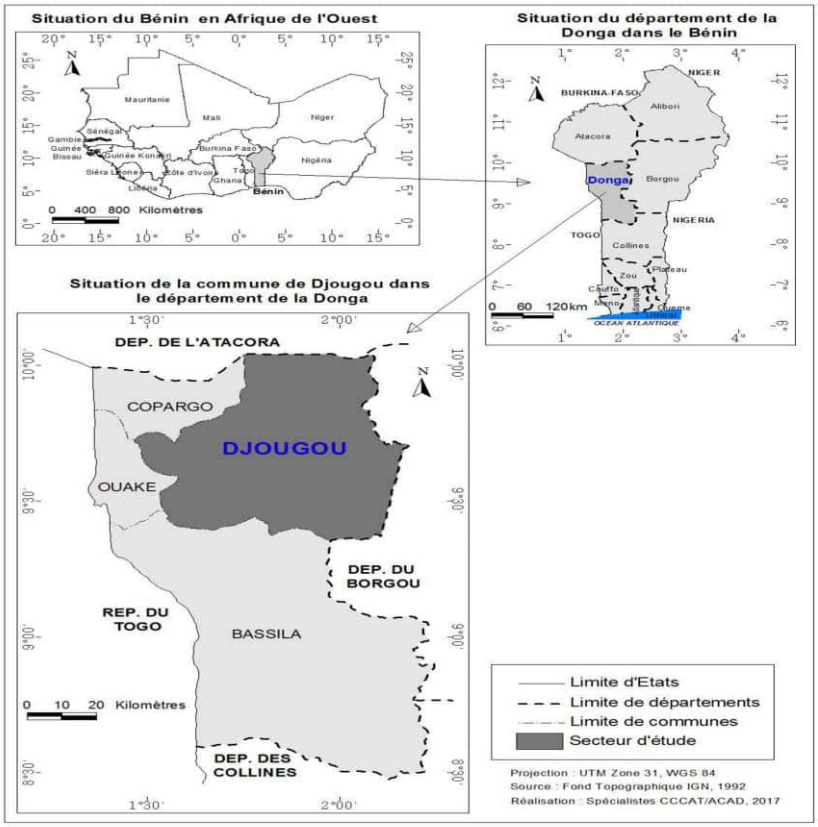


Figure 1. Carte de situation de la commune de Djougou

La commune est subdivisée en douze (12) arrondissements que sont : Djougou 1, Djougou 2, Djougou 3, Baréi, Bariénou, Belléfoungou, Bougou, Kolokondé, Onklou, Partago, Pélébina et Sérou. Ces arrondissements comprennent au total Cent Vingt Deux (122) Villages et quartiers de ville. L'administration locale comporte trois niveaux : la commune, l'arrondissement et le village ou quartier de ville. Le village ou quartier de ville est administré par un chef village ou chef quartier ; l'arrondissement est dirigé par un chef d'arrondissement (CA) pendant que la commune est dirigée par le Maire. La figure 1 présente la situation géographique de la commune de Djougou.

Par ailleurs, Djougou bénéficie d'un climat tropical de type soudano-guinéen, caractérisé par une saison sèche prolongée (novembre à avril) et une saison des pluies irrégulière (mai à octobre), avec une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 700 mm. Ces conditions climatiques influencent fortement la saisonnalité des flux touristiques, en limitant certaines activités en saison pluvieuse et en facilitant l'organisation des événements culturels comme la Gaani en saison sèche.

2.Méthodologie

Dans le but de contribuer à une meilleure connaissance des potentialités de la commune de Djougou et à leur valorisation par le tourisme durable, ce travail a suivi une approche méthodologique bien déterminée.

Tout au long de cette étude, plusieurs types de données ont été utilisés. Il s'agit : des ressources naturelles (relief, climat, hydrographie, sol, végétation, etc.) ; des ressources socioculturelles (marchés, palais, musées, tombe royal, temple, manifestation, etc.) ; -de l'évaluation démographique et des activités économiques du milieu ; -des infrastructures et équipements d'intérêt touristique ; des contraintes ou obstacles au développement du tourisme ; et des statistiques du tourisme.

La collecte des données sur le terrain est faite grâce aux observations directes et aux entretiens avec les différents acteurs du tourisme. Ces investigations sont faites grâce à la détermination d'un échantillon.

Pour l'échantillonnage, il a donc été pris en compte tous les acteurs clés du développement touristique à savoir : l'Etat, les Collectivités locales, les Opérateurs Touristiques Privés, la société civile, la population elle-même, les touristes. L'échantillon a été déterminé de manière raisonnée. Au total, quatre-vingt (80) personnes ont été interviewées dans le cadre de cette étude.

Le traitement des données concerne le dépouillement des fiches d'enquête, des guides d'observation. A ce stade, une lecture de l'ensemble des questionnaires a été faite. Ce qui a permis de procéder à une répartition des données en fonction de leur caractère et des objectifs fixés. Ces informations constituent une base de données exploratoire qui a fait l'objet de traitement et d'analyse.

Les données ont été analysées à l'aide des logiciels Excel et Word pour la production de graphiques et tableaux. Les résultats issus des différents traitements ont été exploités au niveau de la phase analytique de ladite étude.

3. Résultats

3.1. Sites et attraits touristiques de la commune de Djougou

La commune de Djougou dispose d'un patrimoine culturel riche et diversifié, qu'il s'agisse du patrimoine humain et ethnographique, du patrimoine historique, du patrimoine artisanal ou folklorique. Les raisons de ce fait remontent sans doute à l'histoire du peuplement qui a permis l'installation à Djougou d'une mosaïque de peuples qui l'enrichit chacun de ses apports divers.

Le point des ressources touristiques de la commune de Djougou recensées par la mairie et mis à notre disposition à travers la documentation se présente comme suit :

Tableau 1. Point des ressources touristiques de la commune

Ressources touristiques	Arrondissement, Villages/Quartiers de ville	Importance	Aménagement	Mode d'exploitation	Difficultés majeures
La marre aux hippopotames	Barienou/ Affon (espèces rares)	▪ Espèces rares ▪ Observer les hippopotames en toute saison	Non aménagé/ Viabilisé	Non exploité	▪ Pas de voies d'accès ▪ pas de miradors ou belvédères

La marre Korongo	Baréi/ Baréi	▪ chance ▪ vertu thérapeutique ▪ fertilité des femmes	Aménagement saisonnier	Non exploité	▪ Site culturel ▪ Accès restreint
La marre de la noyade (Tchotcho Koha)	Djougou III /Servessi	▪ Site historique national à la vie du royaume de Djougou	Non aménagé	Non exploité	Accès difficile
La marre de Agamassosso	Djougou I / Founga	▪ Rituel ▪ Chance ▪ Vertu thérapeutique ▪ Fertilité des femmes	Non aménagé	Non exploité	Pas de voie d'accès
Les singes de la colline d'Adjandja	Onklou/ Adjandja	▪ Biodiversité ▪ Tourisme solidaire	Non aménagé	Non exploité	Pas de voie d'accès
La colline d'Adjandja	Onklou/ Adjandja	▪ La marre à pluie	Non aménagé	Non exploité	Pas de voie d'accès
La colline de Tébou	Barienou/ Tébou	▪ Vue sur une savane arborée	Non aménagé	Non exploité	Pas de voie d'accès
Colline de Bangana	Djougou/Killir	▪ Site historique	Non aménagé	Non exploité	Pas de voie d'accès
La case ronde de Bouloum	Sérou/ Bouloum	▪ Rituelle ▪ Historique ▪ Cultuelle	Non aménagé	Non exploité	
Le palais royal de kilir	Djougou I/ Kilir	▪ Historique ▪ Culturelle ▪ Cultuelle	oui	Non exploité	
La place de la gaani	Djougou I/ Kilir	▪ Manifestation ▪ Culturelle	oui	Non exploité	
Le zo-laari et sortie de Gbangbéouré	Djougou	▪ Richesse culturelle		Non exploité	

Source : données d'enquête ET-PDC3 (mai 2017)

Outre ces qui est dans le tableau, il aussi les forets sacrées (Forêt de, Soubroukou, Forêt Killir et Forêt Bouloum) qui sont importantes pour les rituelles et la protection d'espèce menacée. Elles ne sont ni aménagées et ni exploitées. Enfin il y a les rites de passage (flagellation des peulhs et des Lokpa) qui ne sont pas exploité. Les différents sites touristiques ne sont pas aménagés. Ils sont inexploités donc ne génèrent aucune recette à la commune.

La période climatique influence directement l'accessibilité et la fréquentation des sites : les fortes pluies entre juin et septembre rendent les pistes impraticables, surtout vers les sites naturels comme la marre aux hippopotames d'Affon ou la colline d'Adjandja. Une planification touristique efficace à Djougou devrait donc intégrer un calendrier des saisons climatiques, en favorisant des circuits et manifestations durant la saison sèche, où les conditions sont plus propices à l'accueil des visiteurs. La photo ci-dessous est l'une des illustrations des potentialités culturelles de la commune de Djougou.

- **Les sites historiques :** ils retracent l'histoire du territoire à travers les éléments que sont le patrimoine bâti, les lieux de mémoire, les royautés ;

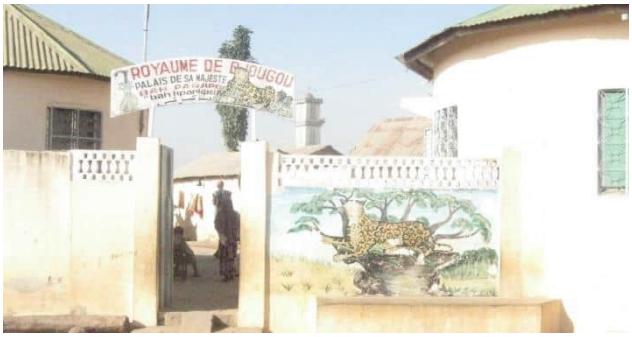


Figure 1 . Palais royal de sa Majesté Baparapé, chargé de la paix, de la sécurité et du Développement de Djougou.

Prise de vue : Sosthène CAPO-CHICHI, Novembre 2018

- **Les sites religieux :** ils comprennent les lieux de cultes traditionnels, les lieux de culte musulmans et les lieux de culte de la chrétienté ;

3.2. Etude de l'organisation et du fonctionnement du tourisme dans la commune de Djougou.

Il ressort des enquêtes menées sur le terrain notamment auprès des Agences de voyages et agences de tourisme, Hôtels, Associations et ONG intervention dans le secteur du tourisme, Administration Nationale et Départementale du Tourisme …, que la commune de Djougou ne dispose ni de site d'animation (site qui, selon les normes internationales, accueille entre 10.000 et 50.000 visiteurs / an, donc un site dont la part de fréquentation devient significative) ; ni de site d'attraction (site qui accueille, selon les normes internationale, au-delà de 50.000 visiteurs, donc un site qui, à lui seul, à la capacité de faire venir des clients sur le territoire) et n'offre point de manifestations culturelles ou activités de loisirs pouvant permettre de mobiliser régulièrement et pour plusieurs jours, des visiteurs ou touristes étrangers.

3.3. Perspectives

Il ressort de nos investigations que plusieurs problèmes, dont trois (3) fondamentaux, sont à la base de la problématique du développement du tourisme en général et du tourisme durable en particulier dans la commune de Djougou. Il s'agit de :

- la méconnaissance des potentialités de la commune de Djougou par le grand public et les acteurs du marché touristique ;

- le manque d'initiatives de valorisation des potentialités touristiques dû au manque de ressources humaines qualifiées et compétentes, de ressources financières suffisantes et au poids de l'Islam ;

- l'inexistence d'un plan stratégique efficace de développement du tourisme dont la mise en œuvre pourrait contribuer à l'amélioration des conditions de vie des populations.

Conclusion

Au terme de cette étude, il ressort que la Commune de Djougou dispose d'énormes potentialités touristiques naturelles, historiques et culturelles pouvant attirer des visiteurs et contribuer ainsi au développement de la Commune. Les résultats de l'étude montrent aussi que les sites et attraits, mieux le patrimoine de la commune de Djougou n'est pas valorisé à des fins touristiques. Le développement du tourisme dans cette commune est toujours à l'étape de réflexion, compte tenu de certains facteurs ou pesanteurs socioculturels et économiques qui constituent des freins ou obstacles à sa concrétisation. Par ailleurs, une meilleure prise en compte des paramètres climatiques saisonniers s'avère nécessaire pour structurer l'offre

touristique autour de fenêtres climatiquement favorables à la fréquentation des sites. Il s'agit donc d'une commune qui, sur le plan touristique, n'a aucun positionnement, ce qui fait qu'elle n'est pas intégrée dans les programmes des circuits ou séjours touristiques organisés par les acteurs privés. Les statistiques du tourisme font état de ce que la fréquentation touristique de Djougou est presque inexistante, seule la « Gaani » mobilise quelques visiteurs constitués surtout de la population locale.

Bibliographie

CAPO-CHICHI S. (2015) : « Développement du tourisme culturel dans une commune du Bénin : cas de Savalou », Mémoire de Master en Gestion du Patrimoine Culturel, ENAM-UAC, 81p.

D'ALMEIDA N. (2006) : Environnement et climat dans les BRICS : un moment cosmopolitique. Dans Hermès, La Revue (2017/3 n° 79) Article de revue Sebastiano Salgado, L'odyssée d'un homme-monde.

OMT (2002) : Tourisme : horizon 2020. Prévisions globales des segments de marchés. Volume 7. OMT, Madrid, Espagne, 144p.

TCHAWLASSOU C. : Potentialités Touristiques et Développement de la commune de Savalou, mémoire de maitrise en géographie, UNB/ FLASH/ DGAT Abomey Calavi, 2006, 111p.

Tourisme : horizon 2020, volume 7, OMT 2002 Ministère du Commerce, de l'Artisanat et du Tourisme, Passeport pour le Benin, Cotonou, Paris, SEPRODIS, 1991, 99 p.

TOPOCLIMATOLOGIE

CARACTERISATION DE LA MANGROVE ET DES SEDIMENTS DE LA LAGUNE COTIERE DANS LA COMMUNE DE OUIDAH AU SUD-BENIN

Rafiatou BAMISSO [1,2]

*[1]**Ecole Normale Supérieure de Porto-Novo, Université d'Abomey-Calavi, rafiatoubamisso@gmail.com,** 97262932*
[2]Laboratoire de Climatologie, Pierre PAGNEY ''Climat, Eau, Ecosystème et Développement" Université d'Abomey-Calavi – 0 3 BP 1122 Jéricho Cotonou, Bénin

Résumé : *La présente recherche a pour but de caractériser la mangrove et les faciès granulométriques de la lagune côtière dans la commune de Ouidah. L'approche méthodologique utilisée s'articule autour de la recherche documentaire, les observations directes, les guides d'entretien. Les données utilisées sont la pluie, et les données sédimentologiques et démographiques. Les résultats des analyses montrent que la mangrove de la lagune côtière dans la commune de Ouidah est constituée de plusieurs strates :la strate arbustive (60%), ensuite arborée (25%) et enfin la strate herbacée (15%). En effet, trois faciès granulométriques se distinguent dans la lagune côtière : sable très grossier et grossier [2mm et 1mm] ; sable moyen [500 µ et 250µ] ; sable fin et très fin [125µ, 63µ, 50µ] et de silt et d'argile [< 50µ].*

Mots clés *: Sud - Bénin, caractérisation, sédiments, mangrove.*

Abstract: Characterization of the mangrove and sediment of the coastal lagoon in the municipality of Ouidah in South Benin. *The aim of this research is to characterize the mangrove swamp and the granulometric facies of the coastal lagoon in the municipality of Ouidah. The methodological approach used is based on documentary research, direct observations, and interview guides. The data used are rainfall, sedimentological, and demographic data. The results of the analyses show that the mangrove swamp of the coastal lagoon in the Municipality of Ouidah is composed of several layers: the shrub layer (60%), then the tree layer (25%), and finally the herbaceous layer (15%). Indeed, three granulometric facies are distinguished in the coastal lagoon: very coarse and coarse sand [2 mm and 1 mm]; medium sand [500 µm and 250 µm]; fine and very fine sand [125 µm, 63 µm, 50 µm] and silt and clay [< 50 µm].*

Keywords*: South-Benin, characterization, sediment, mangrove*

Introduction

La mangrove est la formation de palétuviers établie dans la zone de balancement des marées de tous les littoraux tropicaux (Iltis, 1997). Dans le monde, la végétation de mangrove est diversifiée et comporte beaucoup de caractéristiques floristiques (Youhouin, 2019, p.3). En Afrique, les mangroves couvrent plus de 3,2 millions d'hectares de superficie, ce qui représente environ 19 % du total mondial (Ajonina, 2008). Selon Jeanson et al., (**2018) l**es mangroves jouent un rôle essentiel dans les processus hydro-sédimentaires des zones littorales en dissipant une partie de l'énergie hydrodynamique des courants et des vagues, tout en favorisant le dépôt et l'accumulation des sédiments fins. Au Bénin et particulièrement dans la commune de Ouidah, la mangrove de la lagune côtière présente plusieurs strates végétales dont les systèmes racinaires créent petit à petit leur substrat en retenant les alluvions. Ces sédiments proviendraient de sources endogènes à travers le dépôt des particules en suspension, et de sources exogènes à travers l'érosion des sols, l'apport en sédiments par les barques motorisées en circulation (Abate, 2020). La granulométrie des dépôts sédimentaires des milieux lagunaires informe sur la taille des particules détritiques et sur la nature de leur transport afin d'en déduire leur origine (Bamisso, 2015). En effet, l'objectif de ce travail est de caractériser la mangrove et les faciès granulométriques de la lagune côtière dans la commune de Ouidah. Dans ce contexte quels sont les types de strates de la mangrove de la lagune côtière ? Et quelles sont les compositions des faciès granulométriques de cet écosystème lagunaire ?

Dans le cadre de cette étude, il est indispensable de présenter la situation géographique du milieu d'étude.

1. Présentation de la région d'étude

Le milieu d'étude concerne la lagune côtière située dans la commune de Ouidah au sud du Bénin avec une superficie de 40 km². *Elle fait partie du site Ramsar 1017 et* est comprise entre 6°22'04'' et 6°35'08'' de latitude Nord et 1°52'43'' et 2°18'45'' de longitude Est (Figure 1).

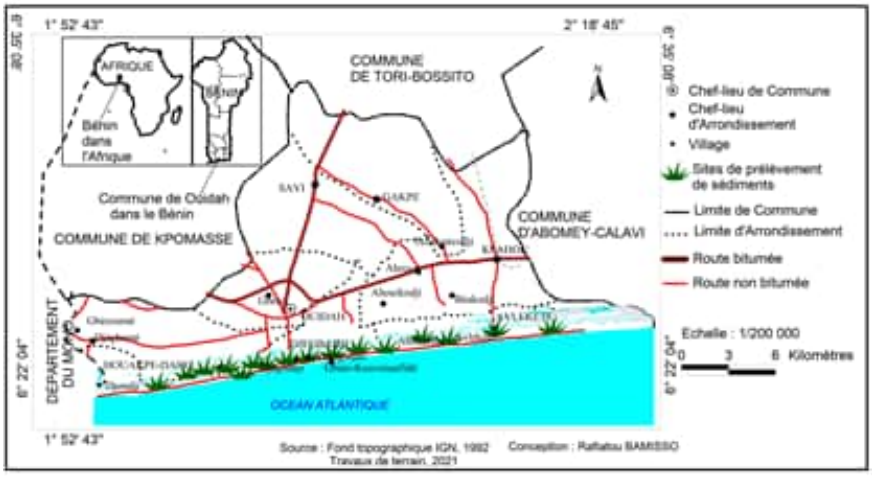


Figure 1. Présentation de la région d'étude

Source : Fond topographique au 1/600000, IGN 1992

Cette lagune côtière est le siège d'un écosystème particulier dont la mangrove constituée de quatre espèces avec une architecture qui diffère d'une localité à une autre. Au nombre de celles-ci se trouvent le palétuvier rouge (*Rhizophora racemosa*), le palétuvier blanc (*Avicennia germinans)* et enfin le palétuvier gris (*Laguncularia racemosa)* et *Conocarpus erectus*.

2. Méthodologie de recherche

La méthodologie utilisée dans le cadre de cette étude comprend : la collecte et le traitement des données puis l'analyse des résultats. Les données collectées sont des données climatiques de l'ASECNA sur la période 1986-2015. Les données sédimentologiques ont été obtenues par prélèvement dans le fond de la lagune côtière et ceci dans les six localités qui constituent une partie de la Commune de Ouidah (Djondji, Houakpè-Daho, Avlékété, Djègbadji, Anagoudo et Gbéto-Kouvènafidé) sélectionnées pour l'étude afin d'apprécier la dynamique des sédiments dans cet écosystème lagunaire. Ainsi, les sédiments prélevés ont été conditionnés dans des sachets transparents et étiquetés du nom de chaque localité et analysés au Laboratoire de Géologie de l'Université d'Abomey-Calavi selon la méthode normalisée AFNOR (Association Française de Normalisation) NF X31-107. Les enquêtes auprès de 50 personnes (pêcheurs, agriculteurs, saliculteurs, chefs religieux, ONG, etc.) ont permis de déterminer les facteurs de l'ensablement et de l'envasement de cet écosystème lagunaire et aussi d'apprécier leur implication effective dans la préservation de la mangrove. Les techniques de collecte de données telles que l'observation directe et l'entretien ont permis d'identifier les facteurs responsables de la structure actuelle de la mangrove, de la sédimentation de même que les activités exercées dans les localités investiguées. Un appareil photographique numérique pour les prises de vues instantanées de l'architecture de la mangrove et un appareil GPS (Global Positioning System) pour la prise des coordonnées géographiques des localités investiguées ont été utilisés afin de réaliser la carte du milieu d'étude. Enfin, la caractérisation de la mangrove a été faite en réalisant un transect dans chaque localité concernée par l'étude afin d'étudier leur zonation floristique.

3. Résultats

3.1. Caractérisation de la mangrove de la lagune côtière

3.1.1. Déterminants physiques du développement des strates de mangrove de la lagune côtière

La figure 2 ci-dessous montre les caractéristiques climatiques du Sud-Bénin qui jouent un rôle déterminant dans l'architecture de la mangrove.

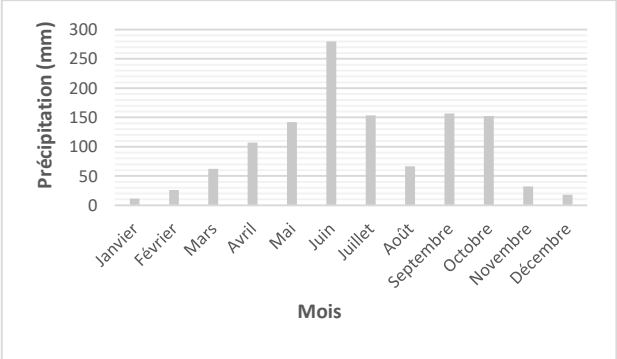


Figure 2.:Régime pluviométrique de la station de Ouidah de 1986-2015

Source **:** ASECNA, 2021

La grande saison des pluies s'étend d'avril à juillet. Le premier optimum en juin avec en moyenne 279,81 mm de pluie influence la répartition de la mangrove (propagule; graines de palétuvier blanc, jeunes plantules, arbustes et arbres) dans la mesure où elle régit la variation de la salinité dans la lagune côtière bordée par la mangrove. Quant à la grande saison sèche (novembre à mars), caractérisée par la faiblesse des pluies, elle est favorable à la régénération naturelle et au reboisement par les populations de la mangrove car elle limite la submersion des jeunes plantules.

Tableau I. Quelques paramètres physiques mesurés dans les strates de la mangrove de la lagune côtière

Localités	**Type de mangrove**	**Température (°C)**			**Vitesse du vent (m/s)**
		Air	***Eau 0-35 cm***	***Sol 0-20 cm***	
Djondji	*Rhizophora racemosa* *Avicennia germinans*	32 30	20 22	21 18	1,5 1
Houakpè-daho	*Avicennia germinans* *Rhizophora racemosa*	32 30	24 25	19 22	1 0,1
Avlékété	*Rhizophora racemosa* *Avicennia germinans*	31 32	20 24	25,4 24	0 0
Djègbadji	*Rhizophora racemosa* *Avicennia germinans*	34 32	22,5 22	23 22	0,5
Anangoudo	*Rhizophora racemosa* *Avicennia germinans*	30 31	24,6 20,5	20 26	0
Gbèto-Kouvènafidé	*Rhizophora racemosa* *Avicennia germinans* *Laguncularia racemosa*	34 30 28	21 20 23	23,8 21 26,5	0 0,2 0,4

Source : Résultats de mesures directes sur le terrain, février 2024, juillet 2024, décembre 2024, février 2025

De l'observation de ce tableau, il ressort qu'il existe des variations dans les différents paramètres mesurés dans la mangrove. Ainsi, les moyennes des températures mesurées oscillent entre 28° et 34°C pour l'air ; 18° et 26°,5 pour le sol entre 0 et 20 cm ; 20° et 24°C pour l'eau entre 0 et 35 cm. La vitesse du vent est généralement presque nulle à l'intérieur des formations de mangrove et varie de 0 à 1,5m /s à l'entrée selon sa direction. En effet, les variations physiques temporelles qui ont lieu dans la mangrove s'expliquent par le fait que l'ambiance microclimatique au sein de cet écosystème, serait particulièrement créée par les interactions

entre les paramètres thermiques et la variation des conditions d'humidité dues à la présence quasi permanente de l'eau (Bamisso,2006).

En effet, lors des investigations, quelques unités géomorphologiques favorisant le développement et la structure de la mangrove telles que les tannes nus et les vases intertidales hautes ont été identifiées. Le long de la lagune côtière les tannes sont des milieux hyper-salés avec la quasi inexistence de la végétation et constituent le support des activités salicoles. Les tannes sont répartis en trois catégories : les tannes nus avec une efflorescence, les tannes herbeux plus élevés que les premiers avec la présence d'herbacées (*Sesuvium portulacastrum* et *Philoxerus vermicularis*) et les tannes inondables séparant la vasière à mangrove des tannes nus.

3.1.2 Architecture de la mangrove de la lagune côtière de Ouidah

La mangrove de la lagune côtière est composée de trois espèces de palétuviers. *Rhizophora racemosa* ou palétuvier rouge de la famille des *Rhizophoracées* est l'espèce pionnière et dominante de la mangrove de cet écosystème lagunaire. *Avicennia germinans* ou palétuvier blanc, de la famille des *Verbénacées*, est l'espèce secondaire de cette mangrove lagunaire et *Laguncularia racemosa* ou palétuvier gris, de la famille des Combrétacées est une espèce très rare dans la zone d'étude du fait que son développement exige plus de lumière. (Photos1).


1

2

Photos 1. Espèces de mangrove dans la lagune côtière : *Rhizophora racemosa (*1) et *Avicennia germinans* (2)

Prise de vues : Bamisso, juillet 2024

Les photos 1 montrent les espèces de mangrove qui se sont organisées en plusieurs ensembles structuraux à différentes hauteurs. C'est une mangrove mixte constituée des espèces de palétuviers adultes ou arborescentes, arbustives, herbacées et même des souches de palétuviers.

En effet, la structure de la mangrove de la lagune côtière est caractérisée par une mangrove clairsemée constituée d'individus très espacés ; ensuite par une mangrove récente et immature liée aux différentes actions de reboisement par les diverses institutions (ONG, PNUD, FAO, populations riveraines), viennent ensuite une mangrove dégradée liée aux activités socioéconomiques et enfin une mangrove sacralisée de plus de trois décennies en particulier celle d'Avlékété et de la Bouche de Roy à Djondji dont la sacralisation n'est que d'une décennie. La figure 3 montre sur un profil topographique (sud-nord) réel un aspect de l'architecture des deux espèces les plus représentatives de la mangrove dans la lagune côtière.

De l'océan vers la terre, les formations d'*Avicennia germinans* succèdent à celles de *Rhizophora racemosa.* Ces dernières forment des rideaux discontinus et l'ensemble est séparé des habitations par les plantations de *Coco nucifera*, *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camadulensis* suivant un profil tracé entre les villages de Gbéto Kouvènafidé et de Djondji par voie navigable. Ces formations sont à l'interface des villages.

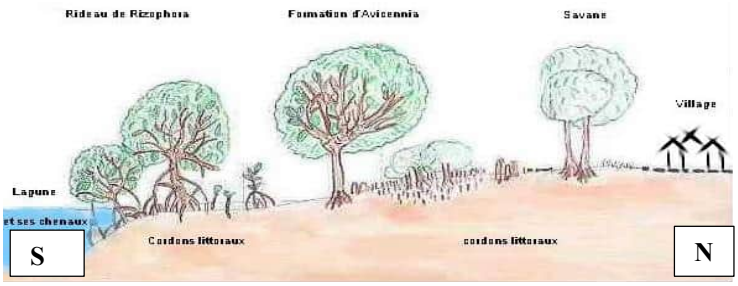


Figure 3. Localisation des espèces représentatives de la mangrove : *Rhizophora* et *Avicennia* suivant la topographie dans la lagune côtière

Source : Résultats d'enquêtes, juillet 2024 et février 2025

A ces espèces représentatives de la mangrove, il faut ajouter certaines herbacées : *Acrostichum aureum, Paspalum vaginatum, Sesivium portulacastrum,* etc. La figure 4 est une représentation des strates de la mangrove de la lagune côtière.

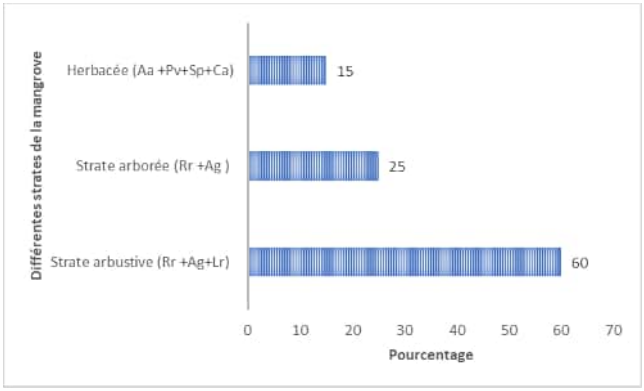


Figure 4. Les strates de la mangrove de la lagune côtière dans la commune de Ouidah

Aa : Avicennia germinans ; Rr : Rhizophora racemosa ; Aa : Acrostichum aureum ; PV : Paspalum Vaginatum ; Sp : Sesuvium portulacastrum et Cypérus articulatus

Source : Enquêtes de terrain, *février 2024, juillet 2024, décembre 2024, février 2025*

L'analyse de la figure 4 montre que de façon générale, le long de la lagune côtière, la strate arbustive de la mangrove des différentes localités représente 60% du domaine avec 45% pour *Rhizophora racemosa* (Rr), 14% pour *Avicennia germinans* (Ag) avec des arbres d'une hauteur comprise entre 4, 5, 6 voire 8 m et pour 1% de *Laguncularia racemosa* (Lr) avec des arbres de 2 voire 3 m de haut. En ce qui concerne la strate arborée, elle est constituée de *Rhizophora racemosa* (Rr) 15% ; d'*Avicennia germinans* (Ag) 10% avec 12 m de hauteur. Quant à la strate herbacée elle représente 15% du total des berges de la lagune côtière. Elle est composée pour 4% *d'Acrostichum aureum (*Aa) de 2 m de haut, pour 7% de *Paspalum vaginatum (Pv)*, pour *2% de Cyperus articulatus (Ca)*, pour 2% de *Philoxerus vermicularis* (Pv) et *Sesuvium portulacastrum* (Sp). Cette architecture de la mangrove de cet écosystème lagunaire dépend de différents faciès qui sont la base de leur développement.

3.2. Caractérisation des sédiments de la lagune côtière

La répartition des faciès granulométriques de la lagune côtière permet de différencier les sables très grossiers et grossiers [2 mm et 1 mm], les sables moyens [500 µ et 250µ], les sables fins et très fins [125µ, 63µ,50µ], le silt et l'argile [< 50µ] (Figure 5).

L'analyse de la figure 5 montre que dans le fond de la lagune côtière à Djondji, Houakpè-Daho, Avlékété, Djègbadji, Anangoudo et à Gbèto-Kouvènafidé le sable très grossier et grossier représentent entre 3,15 et 12,6% à Djondji et entre 2,1 et 10% à Houakpè-Daho . La proportion

des sables moyens est comprise entre 48,2 et 24,7% à Dondji et entre 40,1 et 19,6% à Houakpè-Daho . Par contre, la proportion des sables fins et très fins est comprise entre 0,8 et 0,2% à Djondjiet entre 0,06 et 0,01% à Houakpè-Daho .

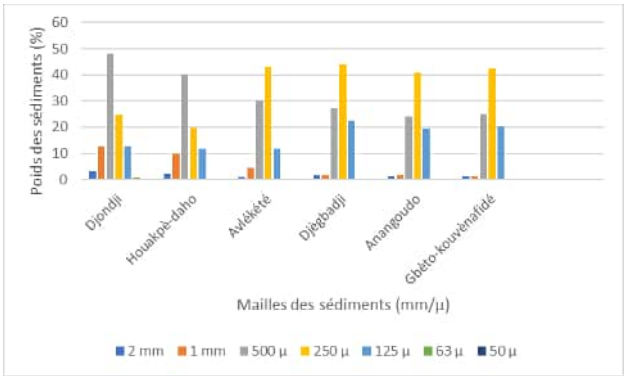


Figure 5. Distribution des sédiments dans la lagune côtière des localités investiguées de la commune de Ouidah

Sables très grossiers et grossiers [2 mm et 1 mm], Sables moyens [500 µ et 250µ], Sables fins et très fins [125µ, 63µ,50µ], Silt et Argile [< 50µ]

Source : Enquêtes de terrain, *février 2024, juillet 2024, décembre 2024, février 2025*

En conclusion, il y a des particules de sédiments de différentes tailles dans le fond de la lagune côtière.

Conclusion

La mangrove de la lagune côtière est un écosystème mixte constituée à 60% de *Rhizophora racemosa* (strate arbustive et arborée) ; 24% d'*Avicennia germinans* (strate arbustive et arborée) ; 1% de *Laguncularia racemosa* (strate arbustive) et 15% d'herbacées. Son architecture ces trois dernières décennies est liée à des facteurs naturels et anthropiques en particulier les coupes pour les divers usages (saliculture, construction, pêche, etc.). De type vaseux, limoneux ou sableux, la lagune côtière dispose de toute une gamme de faciès intermédiaires, abondants et riches en matière organique qui constituent le support du développement des différentes formations de mangrove dans la commune de Ouidah.

Bibliographie

Abate C. M., 2020 : *Caractérisation et étude des possibilités de valorisation des sédiments issus du dragage du chenal d'accès du port de Douala-Bonabéri.* Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master in Engineering, Ecole Normale Supérieure des Travaux Publics du Cameroun, 114 pages.

Ajonina G.N., 2008: *Inventory and modelling mangrove forest stands dynamics following different levels of wood exploitation pressures in the Douala-Edea Atlantic coast of Cameroon.* Ph.D. Thesis, University of Freiburg, Freiburg Germany, 232 p.

Bamisso, R., 2006 : *Caractérisation et gestion des écosystèmes de mangrove du littoral Béninois.* Mémoire de mâitrise, Université d'Abomey-Calavi,79 pages.

Bamisso, R., 2015 : *Fonctions, services et formes d'usages de la mangrove au Bénin : Etude prospective.* Thèse de Doctorat unique, Université d'Abomey-Calavi, 201 pages.

Iltis J., 1997 : *La montée des enjeux dans les marais à mangroves de l'Ouest malgache : de la marginalité à la convoitise.* Ouest Editions /Presses Académiques, Nantes, 24 pages.

Jeanson M., Dolique F. et Anthony E.J. A, 2018 : Processus morphodynamiques et sédimentaires dans les mangroves en érosion de Mayotte, océan Indien. *Revue en Science de l'environnement*, **2**, 1-18.

Youhouin J. F. O, 2019 : *Caractérisation de l'évolution spatiale de la mangrove de la zone humide Ramsar de Grand-Bassam en Côte d'Ivoire de 1985 à 2030.* Master en Développement de l'Université de Senghor, 81 pages.

VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET DYNAMIQUE PAYSAGERE DE LA MANGROVE : INCIDENCES SUR LES FLUX DES STOCKS EN CARBONE DE LA BIOMASSE DANS L'ARRONDISSEMENT DE DJILOR A FATICK (SENEGAL)

Daniel GOMIS [(1)] *, Aminata NDIAYE [(1)] et Aliou GUISSE [(2)]

gdany@live.fr; danyephata@gmail.com; aminata.ndiaye@ucad.edu.sn; aliou.guisse@ucad.edu.sn;
(1) Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal
(2) Département de Biologie végétale, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005 Dakar-Fann, Sénégal ;
**Auteur Correspondant ; E-mail : danyephata@gmail.com ; contact : 00221 77 378 64 90 ;*

Résumé *: Cette étude a analysé la relation entre la variabilité pluviométrique et la dynamique de la mangrove, évaluant leur impact sur le stock de carbone. La méthodologie a inclus l'analyse des données pluviométriques de 1930 à 2017 (tests de Buishand, indice standardisé de pluviométrie), l'estimation du carbone stocké dans la biomasse via des inventaires floristiques et équations allométriques, et une étude diachronique des données Landsat (1972-2017). Les résultats ont révélé une rupture pluviométrique en 1967, marquant un déficit jusqu'aux années 2000. La mangrove a subi une dégradation plus intense durant les sécheresses des années 1970 et 1980. Ces changements ont négativement impacté les stocks de carbone, avec des pertes supérieures aux gains, entraînant une émission nette globale de 2,5 KtCO2/an.*

Mots-Clés *: Pluviométrie, mangrove, dynamique spatio-temporelle et carbone.*

Abstract*: **Rainfall variability and mangrove landscape dynamics : impacts on biomass carbon stock flows in the Djilor district of Fatick (Senegal.*** *This study analyzed the relationship between rainfall variability and mangrove dynamics, assessing their impact on carbon stocks. The methodology included the analysis of rainfall data from 1930 to 2017 (Buishand tests, standardized rainfall index), estimation of carbon stored in biomass via floristic inventories and allometric equations, and a diachronic study of Landsat data (1972-2017). The results revealed a rainfall break in 1967, marking a deficit until the 2000s. The mangrove suffered more intense degradation during the droughts of the 1970s and 1980s. These changes negatively impacted carbon stocks, with losses exceeding gains, resulting in a global net emission of 2.5 KtCO2/year.*

Keywords: *Rainfall, mangrove, spatiotemporal dynamics, and carbon.*

Introduction

Le changement climatique du fait de ses répercussions immédiates et durables sur les sociétés humaines et les écosystèmes est actuellement sujet à de grandes inquiétudes. En Afrique de l'Ouest, une région à forte variabilité pluviométrique, ces changements se résument en grande partie à une baisse drastique des précipitations. En effet, depuis la fin des années 1960, la région connaît des déficits pluviométriques chroniques, énormes et intenses qui se sont étendus sur toute la région jusqu'à toucher une partie de l'Afrique centrale. Ces déficits ont été caractérisés par une diminution importante de la pluviométrie, de l'ordre de 20 % à 30 % engendrant une réduction des apports en eau douce (L'Hôte Y. et *al*., 2000). L'équilibre écosystémique étant en grande partie dépendant de la dynamique hydro-climatique, cette situation a fortement fragilisé les écosystèmes végétaux naturels avec des incidences sur leur abondance, leur composition et leur structure. Parmi ces écosystèmes, la mangrove, un écosystème littoral à forte productivité de biomasse, avec de nombreux services environnementaux et socioéconomiques n'a pas été en reste. Au Sénégal, d'après certains auteurs, elle a été fortement éprouvée par l'action conjuguée de la péjoration climatique et de l'anthropisation croissante liée à l'augmentation de la population et de sa dépendance aux ressources de la mangrove (Dièye et al, 2015 ; Ndour, 2005). Ainsi, pour s'enquérir des informations sur les incidents de tels phénomènes sur le service de la mangrove en atténuation du réchauffement climatique, cette étude s'est fixée pour objectif : d'étudier les impacts des variabilités pluviométriques (1930-2017) et des changements d'affectation des terres (1972-

2017) sur les bilans des stocks en carbone de la mangrove de l'arrondissement de Djilor, une localité située dans le centre ouest du Sénégal (Figure1).

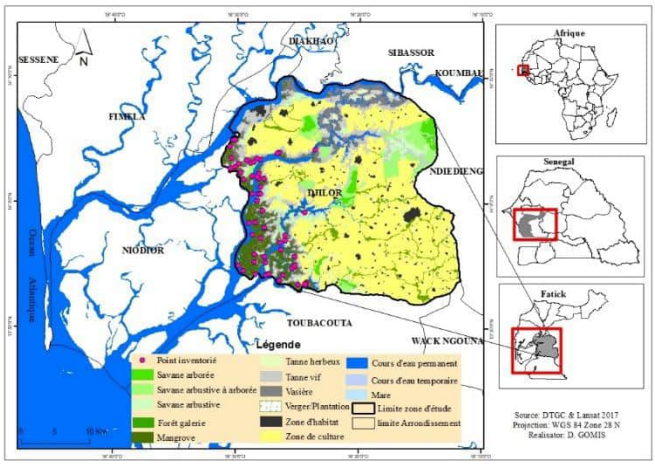


Figure 1. Situation de la zone d'étude et localisation des placettes d'inventaire floristqique

1. Données et méthodes de traitement

Dans cette étude, les données d'inventaire floristique, de pluviométrie et d'images satellites ont été utilisées. Les inventaires ont été effectués de manière aléatoire, dans le courant du 15 février au 22 juillet 2019. Un total de 60 placettes carrées de 10 m de côté chacune a été réalisé (Figure 1). Dans chaque placette les paramètres de diamètre et de hauteur totale ont été mesurés sur des individus de diamètre ≥ à 10 cm. Sur la base de ces paramètres, les calculs dendrométriques ont été faits, la biomasse a été calculée par l'utilisation des modèles allométriques de Chave et *al*., (2005) et Cairn et *al*., (1997) et le carbone déduit en faisant le produit entre la biomasse et le coefficient de 0,5. S'agissant de la variabilité pluviométrique annuelle, les séries de 1930-2017 de la station de la région (Fatick) et de celle du département (Foundiougne) de la zone d'étude ont été utilisées. La statistique descriptive, le test non paramétrique de Buishand et l'indice de Lamb ont été mis à contribution pour analyser les résultats. Enfin, pour cartographier la dynamique spatio-temporelle de la mangrove (1972-1985, 1985-1998, 1998-2006 et 2006-2017), les images satellites Landsat ont été utilisées.

2. Résultats et discussions

2.1. Physionomie pluviométrique de la zone d'étude

2.1.1. Variabilité interannuelle de pluie

Les évolutions des séries pluviométriques des stations de Fatick et de Foundiougne de 1930 à 2017 montrent une grande variabilité interannuelle des précipitations (Figure 2). Néanmoins l'analyse physionomique de la série des deux stations fait discriminer trois périodes importantes. Il est ainsi distingué pour la station de Fatick : i) la période pluvieuse de 1930-1969 qui enregistre une moyenne pluviométrie au-dessus de celle de la série ; ii) la période de 1970-2007 marquée par pluviométrie en baisse avec une moyenne en deçà de 264,2 mm de celle de la première et enfin iii) la période de 2008-2017 caractérisée par une légère reprise pluviométrique avec un écart de 160,2 mm par rapport à la moyenne précédente. Pour la station de Foundiougne, la situation reste un peu similaire mais, les débuts des périodes de baisse et de reprise pluviométriques ont été plus précoce, soit respectivement 1968 et 1999, avec des moyennes inférieures à celle de la série. Par conséquent, les évolutions pluviométriques, des deux stations mettent en évidence, des moyennes annuelles des deux dernières périodes bien inférieures à celle de la première, ce qui se traduit par une tendance à la baisse.

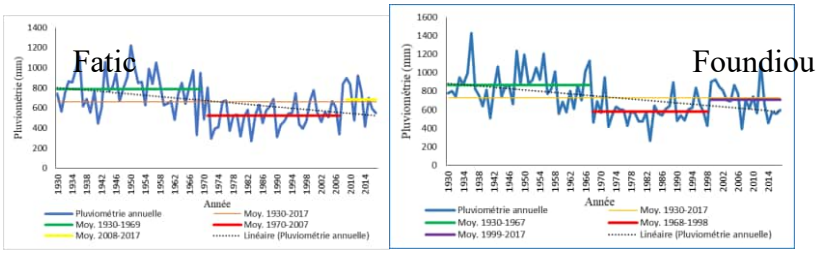


Figure 2. Evolution interannuelle des précipitations à Fatick et Foundiougne de 1930 à 2017

2.1.2. Analyse de la rupture de stationnarité dans les chroniques de pluie dans zone d'étude

Les résultats des tests de Buishand présentés sous forme d'ellipse, confirment bien, par le rejet de l'hypothèse nulle, de la non stationnarité des stations considérées (Figure 3). Pour ces dernières, ils identifient l'année 1967 comme l'année de rupture. Au regard de ces tests, il est remarqué que les moyennes des sous-séries avant et après la rupture sont respectivement de 795,3 mm et 562,8 mm pour la station de Fatick et 860,3 mm et 628,4 mm pour celle de Foundiougne, soit des déficits pluviométriques respectifs de 29,4 % et de 27%. Cette situation pourrait bien avoir une influence sur l'état du couvert végétal.

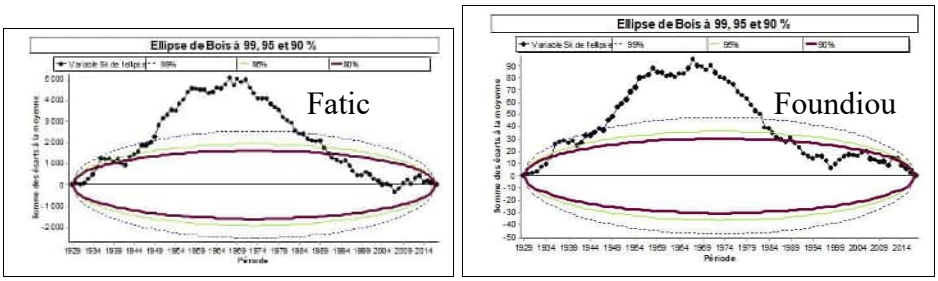


Figure 3. Résultats des tests de Buishand aux stations de Fatick et de Foundiougne de 1930 à 2017

En se basant sur l'année de rupture, l'indice de Lamb a permis d'apprécier pour chaque période les années humides et les années sèches (Figure 4). Ainsi, l'avant la rupture constitue dans sa gblobalité, une période humide avec 28 années humides contre 10 sèches pour Fatick et 30 années humides contre 08 sèches pour Foundiougne. Concernant l'après rupture, elle a été marquée dans un premier temps par des années sèches chroniques qui ont duré jusqu'en 2007 pour Fatick avec 31 années sèches contre 09 humides et jusqu'en 1999 pour Foundiougne avec 28 années sèches contre 03 humides. Aussi, les années les plus sèches ont été enregistrées durant cette phase (1968,1972, 1980, 1983 et 1990). Cette période qui va 1968 à la fin des années 1990 voire même, jusqu'au milieu des années 2000, coïncident avec les années de sécheresse pour plusieurs stations ouest africaines. Il y a eu, en second lieu, la période de reprise pluviométrique, qui demeure pour le moment instable car caractérisée par une alternance d'années humides et sèches dont respectivement au nombre de 06 et 04 pour Fatick et 08 et 11 pour Foundiougne. Ces résultats montrent la situation de déficit pluviométrique qui sévit dans la zone d'étude depuis 1968 occasionnant une réduction dans l'alimentation en eau douce des écosystèmes naturels.

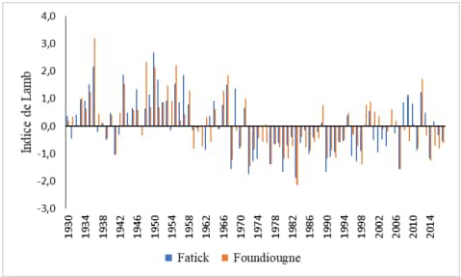


Figure 4. Evolution de la pluviométrie à Fatick

2.2. l'écosystème de mangrove et service de stockage du carbone atmosphérique

2.2.1. Composition floristique de la mangrove

Les résultats des inventaires floristiques de la mangrove ont révélé un écosystème caractérisé par l'existence 4 espèces appartenant à 3 genres et 3 familles (Tableau 1). Les familles les mieux représentées sont les rhizophoraceae. Concernant les espèces, *Rhizophora mangle* demeure la plus fréquente. Au vu de l'IVI, elle constitue *avec Rhizophora racemosa,* les espèces qui renferment les caractéristiques physionomiques les plus importantes du peuplement.

Tableau 1 : Fréquence et IVI des espèces inventoriées

Famille	Genre	Espèces	FR%	IVI %
Rhizophoraceae	Rhizophora	*Rhizophora mangle*	50	42,9
		Rhizophora racemosa	32,4	47,2
Verbenaceae	Avicennia	*Avicennia africana*	16,2	8,7
Combretaceae	Conocarpus	*Conocarpus erectus*	1,47	1,2

Fr (Fréquence) ; IVI (Indice de Valeur d'Importance)

2.2.2. Paramètres structuraux et stock en carbone de la mangrove

Les paramètres dendrométriques ont révélé, d'une manière générale, un peuplement de mangrove caractérisé, par une densité moyenne de 2219 individus par ha avec, un diamètre moyen de 5,5 cm, une hauteur moyenne de 6,6 m et une surface terrière moyenne de 5,6 m^2/ha. Les valeurs en carbone stockées dans la biomasse de ce peuplement ont été évaluées à 25,3 tC/ha révélant ces potentialités en stockage du carbone atmosphérique.

Tableau 2. Paramètres dendrométriques et stock en carbone du peuplement de mangrove

Paramètre dendrométrique et stock de carbone du peuplement		Valeur moyenne
Densité réelle moyenne (individus/ha)		2201,7
Diamètre moyen (cm)		5,8
Surface terrière moyenne (m^2/ha)		5,6
Hauteur moyenne		6,7
Biomasse moyenne (TMS.ha^{-1})	AGB	41,4
	BGB	9,2
	Total	50,6
Stock de carbone moyen (TC. ha^{-1})	AGB	20,7
	BGB	4,6
	Total	25,3

AGB: Above Ground Biomass; BGB: Below Ground Biomass

2.3. Cartographie des changements de la mangrove de la zone d'étude de 1972 à 2017

Les superficies issues de la cartographie des unités paysagères de la mangrove, pour chacune des dates considérées, ont permis d'appréhender les changements d'occupation du sol intervenus, sur chacune d'entre elles (Tableau 3). Dans l'ensemble, de 1972 à 2017, les superficies de mangrove et de tanne herbeux se sont réduites de 18,1 % et 15,9 % au profit des tannes vifs, des cours d'eau et des vasières. Les réductions les plus importantes ont été enregistrées entre 1972-1985 et entre 1985-1998 coïncidant avec l'épisode de sécheresse chronique. Même si l'exploitation anthropique demeure effective, la baisse des apports en eau douce, combinée à l'évaporation et à la pénétration des eaux marines, a été aussi l'origine d'une augmentation de la salinité favorisant l'expansion des tannes vifs et des vasières au détriment de la mangrove. Tout comme la reprise pluviométrique associée aux activités de reboisement aurait dans un premier réduit les pertes de mangrove de 1998-2006 puis favoriser sa régénération en 2006-2017 dans les milieux naguère dégradés.

Tableau 3. Dynamique des unités paysagères de la mangrove

Paysage de la mangrove	Superficie en ha					Taux d'évolution en %				
	1972	1985	1998	2006	2017	1972-1985	1985-1998	1998-2006	2006-2017	1972-2017
Mangrove	6620	5735	5132	5125	5420	-13,4	-10,5	-0,1	5,8	-18,1
Cours d'eau permanent	5052	5740	6232	6095	6314	13,6	8,6	-2,2	3,6	25,0
Tanne herbeux	628	448	472	568	528	-28,7	5,3	20,5	-7,1	-15,9
Tanne vif	6940	8437	8224	8282	8836	21,6	-2,5	0,7	6,7	27,3
Vasière	5705	5598	6232	6461	6612	-1,9	11,3	3,7	2,3	15,9
Cours d'eau temporaire	233	300	353	422	410	28,9	17,6	19,6	-3,0	75,8

La localisation des changements subis par la végétation en termes, de perte et de gain de superficies, a été faite par la réalisation de cartes de changement (Figure 5).

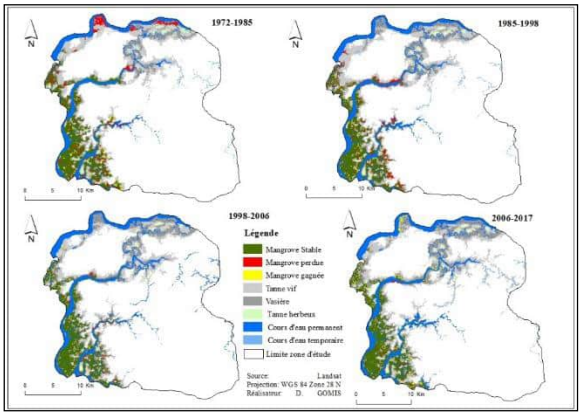


Figure 5 : Cartographie de l'évolution de la mangrove de la zone d'étude de 1972 à 2017

L'interprétation statistique de ces changements (Figure 5) confirme les résultats déjà obtenus sur l'importance des pertes lors des deux premières périodes (1972-1985 et 1985-1994) avec des taux respectifs de 19% et 16% contre des gains de 7% et 6%. Pour la période 1998-2006 ces pertes (5,1%) demeurent moindre et légèrement supérieures au gain (4,8%). Cette situation s'inverse pour la dernière période (2006-2017) avec les gains (9%) qui surpassent les pertes (3%).

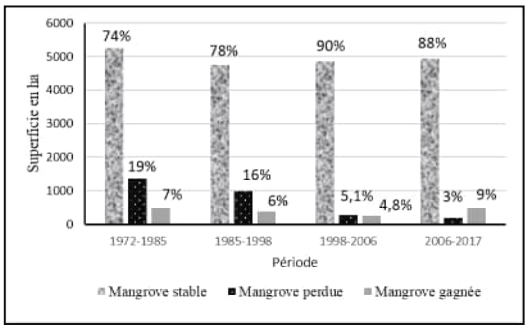


Figure 5 : l'évolution de la mangrove de 1972 à 2017

2.4. Corrélation entre les superficies de la mangrove et les moyennes décennales des pluies

Les relations entre les moyennes décennales des pluies et les superficies de mangrove correspondantes sont consignées dans la figure 6. Elle montre par une courbe polynomiale d'ordre 2, un lien R^2 de 0,9 pour la station de Fatick et de 0,3 pour celle de Foundiougne. Celle de Fatick traduit le plus ce lien, où l'on voit, les superficies qui diminuent avec la baisse pluviométrique puis, se stabilisent, avant de se tendre vers une augmentation avec la hausse pluviométrique.

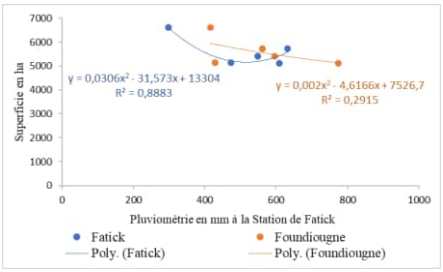


Figure 6 : Corrélation entre les pluies moyennes décennale et les superficies de mangrove correspondantes

2.5. Incidences sur les variations des stocks en carbone de la biomasse

Tous ces changements en superficie de la mangrove et dont les coïncidences avec la variabilité pluviométrique n'épargnent pas son influence, n'ont pas été sans incidence sur les variations des stocks en carbone. Elles se sont traduites par un bilan marqué par des émissions globales de 2,5 $KtCO_2$/an en raison de l'importance des pertes sur les gains en superficie de la mangrove (Tableau 4).

Tableau 4 : impacts de la dynamique de la mangrove sur les stocks en carbone

Bilan des changements	1972-2017			
	ΔTotal surface (ha)	Δ C total (t)	Δ C total (t/an)	Δ CO_2 (t/an)
Mangrove perdue	-2806	-71000	-1578	-5790
Mangrove gagnée	1601	40499	900	3303
Total	-1206	-30501	-678	-2488

Conclusion

Il ressort de cette étude que, les périodes de déficit pluviométrique ont été celles, où la mangrove a le plus régressé, atteignant des taux de perte qui n'ont pas encore été compensés malgré, le signalement d'une reprise pluviométrique et de l'éveil de la conscience citoyenne sur la nécessité de sa conservation. Par conséquent, cette situation a entraîné de 1972 à 2017, une dynamique des stocks en carbone marquée par plus de perte que de Gain. Cela fait de cet écosystème une source d'émission de carbone, avec une émission globale annuelle de 2,5 $KtCO_2$/an, ce qui contribue plutôt au réchauffement du climat qu'à son atténuation. Pour renverser la tendance et favoriser une contribution plus positive de la mangrove à la lutte contre le réchauffement climatique, des activités de restauration doivent être promues dans cette zone.

Bibliographie

Cairns AM, Helmer HEBS, Baumgardner AG. 1997. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia,* **111**: 1–11. DOI: https://doi.org/10.1007/s004420050201

Chave J, Andalo C, Brown S, Cairns MA, Chambers JQ, Eamus D, Fölster H, Fromard F, Higuchi N, Kira T, Lescure JP, Nelson BW, Ogawa H, Puig H, Riera B. et Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145 : 87–99.

L'Hôte Y, Mahé G, Somé B., Triboulet J.P. (2002). Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000 ; the drought continues. *Hydrological Sciences Journal*, 47 (4), p. 563-572. ISSN 0262-6667

Ndour N. 2005. Caractérisation et étude de la dynamique des peuplements de mangrove de la réserve de biosphère du Delta du Saloum (République du Sénégal). Thèse de troisième cycle en sciences de l'environnement. ISE, FST, UCAD. 170 pages.

Dièye E. B, Diaw A. T, Sané T. et Ndour N. 2013. Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010. Cybergeo : European Journal of Geography. URL : http://cybergeo.revues.org/25671 ; DOI : 10.4000/cybergeo.25671.

TOPOCLIMAT ET ORGANISATION DES FORMATIONS VÉGÉTALES DANS LE DOMAINE DES CHAINES DE COLLINES BAOULÉ (CENTRE-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE)

Kan Emile KOFFI [1], Aya Douda ADEGNIKA [2], Mathieu Jonasse AFFRO [3]

[1] *Enseignant-chercheur, Université Alassane Ouattara, 01 BP V18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire,* kanemile22@gmail.com
[2] *Doctorante, Université Alassane Ouattara, 01 BP V18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire,* adegnikadouda@gmail.com
[3] *Enseignant-chercheur, Université Alassane Ouattara, 01 BP V18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire,* affrojonasse@gmail.com

Résumé : *Les défis de la déforestation et la variabilité climatique poussent à mieux comprendre les dynamiques écologiques locales. Cette étude examine l'influence du topoclimat sur la végétation du domaine de collines Baoulé caractérisé par un modelé et un microclimat de type collinéen. La méthodologie est basée sur une approche naturaliste et géostatistique. La démarche naturaliste permet de faire la correspondance entre les relevés d'occupation du sol sur des séquences morpho-pédologiques et les classes de l'indice SAVI en vue de renseigner la typologie. La statistique multivariée aide à établir les corrélations entre les paramètres topoclimatiques et l'organisation de la végétation. Les résultats montrent que les formations boisées sont assez corrélées aux chaînons alors que les formations arbustives sont rattachées aux plateaux.*

Mots-clés : *Topoclimat, chaînons, végétation, Côte d'Ivoire.*

Abstract: *The challenges of deforestation and climate variability are driving a better understanding of local ecological dynamics. This study examines the influence of topoclimate on the vegetation of the Baoulé hills area, characterized by a hilly-type model and microclimate. The methodology is based on a naturalistic and geostatistical approach. The naturalistic approach allows for the correspondence between land use records on morpho-pedological sequences and the SAVI index classes in order to inform the typology. Multivariate statistics help establish correlations between topoclimatic parameters and vegetation organization. The results show that the wooded formations are fairly correlated to the ranges while the shrub formations are attached to the plateaus*

Keywords : *Topoclimate, ranges, vegetation, Côte d'Ivoire.*

Introduction

Le topoclimat est une ambiance climatique particulière liée principalement aux irrégularités du relief et à l'altitude (Lebourgeois, 2002). Les études menées dans ce domaine mettent souvent en relation les paramètres topoclimatiques avec le fonctionnement de certains éléments géographiques dans une démarche de modélisation. Il s'agit généralement des modélisations topoclimatiques de la température (Douguédroit, 2019), des précipitations (Van Hamme, 1992) et de l'étagement de la végétation en milieu montagnard (Douguédroit, 1984). Dans ce contexte, les contrastes géographiques sont des situations privilégiées pour la pertinence des résultats recherchés.

Les espaces environnant la chaîne de collines Baoulé sont marqués par des contrastes scientifiquement intéressants. En effet, la topographie présente un alignement de collines et de chaînons birrimiens qui surplombent un glacis granitique dont les interfluves sont bordés par des vallées plus ou moins drainées. Les formations superficielles se différencient par la diversité de roches-mères issues d'un complexe volcano-sédimentaire qui tranche avec le domaine des granitoïdes. Ce complexe environnemental influence naturellement la distribution des formations végétales. Un postulat généralement admis conditionnant la chorologie végétale est que « dans les conditions que l'on peut qualifier de "naturelles", c'est-à-dire là où aucune trace de défrichement récent n'intervient, la répartition des formations végétales le long d'un transect ou section topographique suit très exactement les formations superficielles rencontrées » (Avenard, 1975). Or, le climat local et les activités humaines sont des facteurs perturbateurs. En

outre, un contraste significatif entre des domaines topographiques homogènes peut favoriser une organisation typique de la végétation. L'objectif de cette étude est de montrer le rôle du topoclimat dans l'organisation de la végétation dans le domaine de la chaîne Baoulé. Dans cette perspective, l'étude consiste à ressortir les caractères du topoclimat et de la végétation et à faire l'analyse des incidences inhérentes.

1. Cadre d'étude

Le secteur d'étude est représenté par la feuille M'bahiakro 3b du découpage topographique de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/50 000. Il couvre 770 km² entre les longitudes 4°30'0" et 4°45'0" W et les latitudes 7°30'0" et 7°45'0" N (Figure 1).

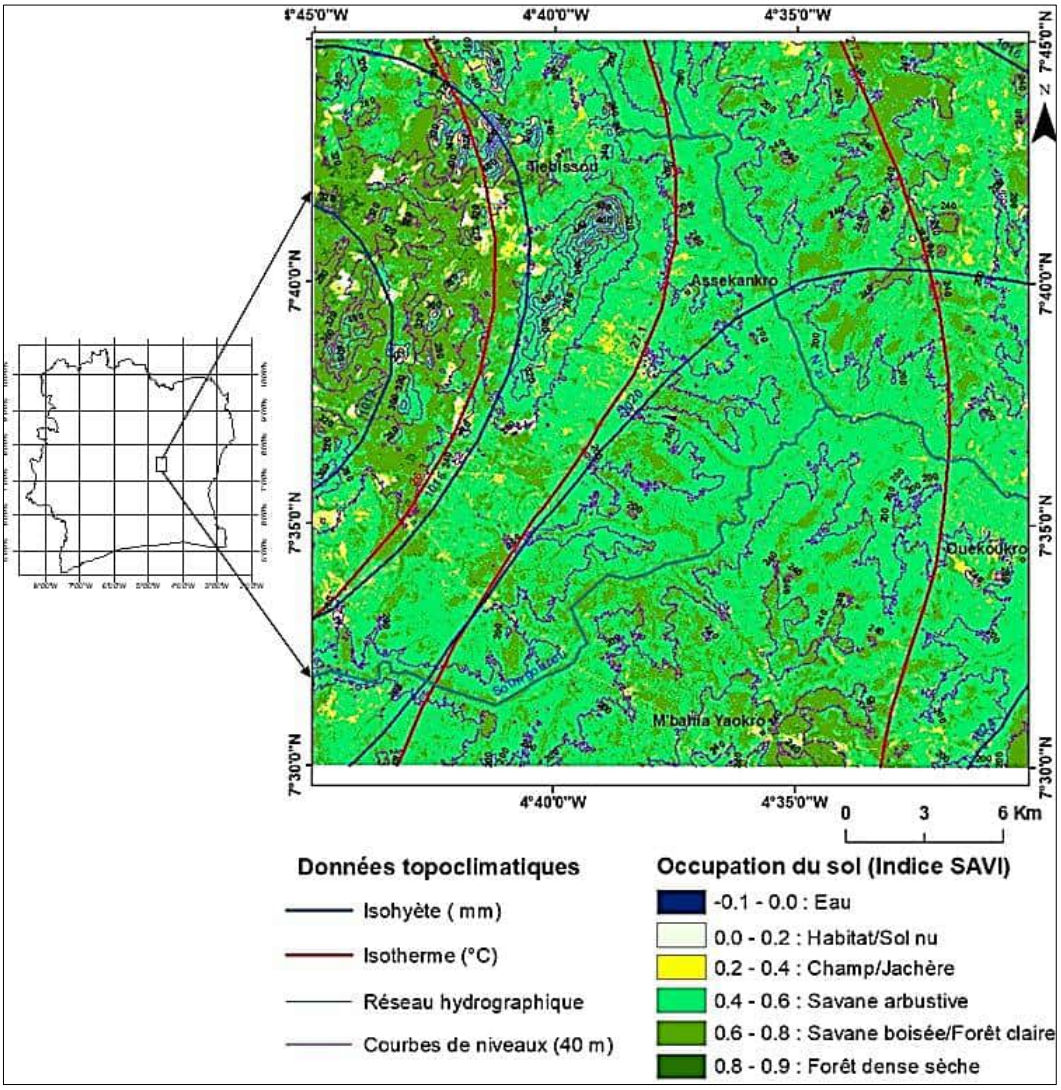


Figure 1. Situation du cadre spatial. Source : Climatetoolbox.org, MNT ALOS, ESRI Sentinel 2.

Le modelé est essentiellement un plateau surmonté de chaînons. Les plateaux couvrent essentiellement le socle granitique alors que les chaînons sont forgés dans des roches volcano-sédimentaires. Les sols sont ferrallitiques avec un faciès plus arénacé sur les granitoïdes et plus argileux sur le complexe volcanique. La végétation, incluse dans l'écosystème des savanes préforestières, est constituée d'îlots de forêt dans de vastes aires de savane subsoudanaise. Le climat subéquatorial de transition balance entre le régime bimodal et unimodal. Selon les données de la station synoptique de Bouaké à une trentaine de kilomètres, les précipitations annuelles atteignent 1200 mm et la température moyenne annuelle est de 27°C.

Les paramètres topoclimatiques du terrain concernent certains éléments physiques tels que l'altitude, les précipitations, la température, la pente et son exposition (adret, ubac, vents) et les plans d'eau. L'expression de ces éléments est intéressante à l'exception des différentes formes d'exposition des pentes. A cause de la faiblesse des altitudes et de la localisation dans les basses latitudes, il fait chaud toute l'année et l'énergie solaire reçue est uniformément repartie. En outre, les vents locaux sont turbulents et leur dispersion n'est pas véritablement un facteur discriminant la végétation à l'échelle locale.

2. Données et méthodes

Le topoclimat peut provoquer des variations importantes dans le modèle de distribution des formations végétales. Pour analyser l'influence de cette ambiance locale sur l'organisation de la végétation, des données et méthodes appropriées ont été exploitées.

2.1. Données de l'étude

Les données utilisées sont :

- la carte topo M'bahiakro NB-30-XX-3b à l'échelle 1/50 000 établie par l'Institut Géographique de Côte d'Ivoire (IGCI) en 1980, pour circonscrire le cadre spatial ;

- la carte géologique de la SODEMI (Société pour le Développement Minier en Côte d'Ivoire) à l'échelle 1/200 000 pour connaître les formations géologiques ;

- l'image MNT ALOS (12,5 m de résolution) de références AP_07467_FBD_F0120_RT1, 2018 pour l'extraction des altitudes et pentes ;

- l'image Sentinel 2A - L2A_T30NUP_A049297_20241129T104609 (10 m, 7 bandes spectrales) du 29/11/2024 pour la classification de la végétation ;

- les données météorologiques de deux (2) stations environnantes (Allangouassou et Brobo) pour la pluviométrie et la température 2005-2024, téléchargées sur le site https://climatetoolbox.org.

2.2. Méthodes

L'approche principale est bâtie sur une corrélation spatiale. Elle suppose l'établissement de liens entre les variables topoclimatiques pertinentes spatialisées (altitude, pente, précipitations et température) et les classes de végétation (forêts et savanes). L'homogénéisation spatiale consiste à convertir les entités topoclimatiques en dimension aréales par la technique de Krigeage. Quant aux formations végétales, leurs classes sont déterminées en appliquant l'indice SAVI sur une image Sentinel 2A. Cet indice est adapté aux zones de végétation plus ou moins clairsemée selon la formule suivante :

$$SAVI = ((NIR - ROUGE) / (NIR + ROUGE + L)) * (1 + L) \quad (1)$$

Où NIR est la longueur d'onde du proche infrarouge ; Rouge est la longueur d'onde dans le rouge ; L est le facteur de correction du sol. Les classes d'occupation du sol obtenues par l'indice SAVI et les types de sol ont été identifiés à partir d'enquête de terrain sur la base d'un échantillonnage morpho-pédologique.

Enfin, la méthode d'analyse de l'influence du topoclimat sur l'organisation des formations végétales est établie par une corrélation à l'aide de l'Analyse en Composante Principale (ACP). Un tableau de contingence, présentant en ligne les variables topoclimatiques et en ordonnées les classes de végétation, est transformé en matrice de corrélation représentée par un biplot qui fonde l'analyse.

3. Résultats et discussion

3.1. Caractères du topoclimat et de l'organisation de la végétation du domaine

Le traitement des données du paysage de la chaîne de collines Baoulé permet de dégager les caractères significatifs du topoclimat et de la végétation. Les informations qui en découlent traduisent un gradient quantitatif observable d'un paysage à l'autre (Tableau 1).

Tableau 1 : Topoclimat et occupation du sol.

FDS = Forêt dense sèche ; FC/SB = Forêt claire et/ou savane boisée ; SAB = Savane arbustive ; EAU = Eau de surface ; CHJ = Mosaïque champs et jachère ; SN/HB = Sol nu ou habitat. Source : MNT ALOS 12,5 m et Sentinel 2A.

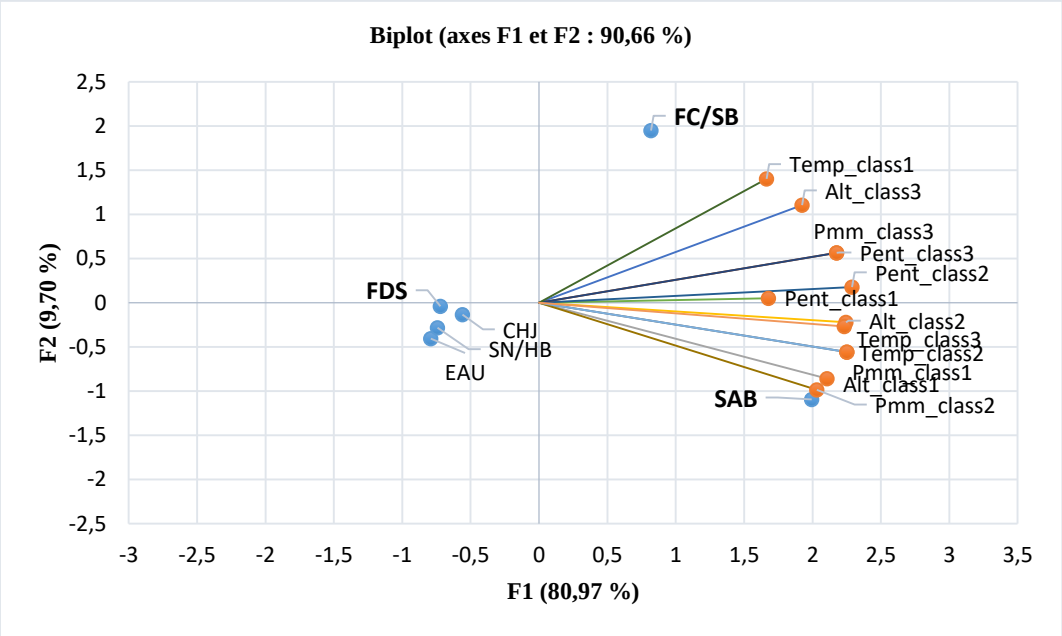
	Paramètres du topoclimat				**Extension de l'occupation du sol (%)**					
Paysages	Alt.(m)	Pente (%)	P (mm)	T°C	FDS	FC/SB	SAB	EAU	CHJ	SN/HB
Chaînons	180-500	0-41	1012	26,3	39	44	12	0	4	1
Plateaux	160-322	0-18	1024	27,4	17	24	52	0	6	1

Les paramètres du topoclimat montrent que les altitudes et les pentes décroissent des chaînons vers les plateaux. Les précipitations et les températures évoluent inversement. La faiblesse des volumes topographiques jouant, les pluies orographiques ne sont pas vraiment manifestes ; les précipitations sont alors plus faibles sur les massifs, les marges étant mieux arrosées. Le gradient thermique moyen de 0,6 °C de baisse par 100 m d'altitude fonctionne correctement ; ce qui fait que les températures sont plus basses sur les massifs qui surplombent les plateaux de 200 m.

Quant à la végétation, l'indice SAVI fait ressortir trois classes : les forêts denses sèches, les forêts claires et/ou savanes boisées et les savanes arbustives. Toutefois, les chaînons sont plus boisés que les plateaux, avec 83% de couverture boisée contre 41%. La dominance de la végétation arbustive sur les plateaux est due à leur accès facile aux activités humaines ; l'anthropisation ne favorisant pas le boisement. Par contre, les chaînons plus rugueux et parfois chaotiques pérennisent mieux leur végétation. Ces observations amènent à rechercher le lien réel entre le topoclimat et la végétation.

3.2. Lien entre topoclimat et organisation des formations végétales

Le topoclimat influence d'une certaine manière l'organisation de la végétation dans le paysage. L'analyse de la matrice de corrélation (Figure 2) montre que le développement des forêts denses sèches n'a pas de lien significatif avec le topoclimat. Par contre les forêts claires et savanes boisées, ainsi que les savanes arbustives sont sensibles au topoclimat. En effet, la végétation boisée se développe dans des conditions de température basse, d'altitude et de pentes élevées correspondant au topoclimat des chaînons. A l'inverse, les végétations arbustives sont plus proches des précipitations moyennes et des altitudes minimales correspondant aux plateaux.



Temp = température ; Pmm = précipitation ; Pent = pente ; Alt = altitude. Class 1, 2, 3 = classe faible, moyenne, forte. Source : MNT Alos 12,5 m, site Climatetoolbox.org, Sentinel 2A.

Figure 2 : Graphiques de corrélation Topoclimat-végétation par ACP.

En définitive, le profil de l'organisation végétale se présente de la manière suivante : les savanes boisées et forêts claires couvrent les chaînons, les formations arbustives, les plateaux, alors que les forêts denses sèches sont disséminées un peu partout. Cependant, une réflexion sur les formations superficielles à partir d'une enquête morpho-pédologique peut enrichir l'explication de cette structuration (Tableau 2).

Tableau 2. Organisation de l'occupation du sol en fonction de la morpho-pédologie. Source, nos enquêtes.

Type de sol	Caractères édaphiques	Extension de l'occupation du sol (%)					
		FDS	FC/SB	SAB	EAU	CHJ	SN/HB
Sol ferrallitique remanié rajeuni sur chaînon	Argile 75% Sable 20% Limon 5% Eléments grossiers 25% Profondeur <55 cm	1,57	**50,15**	38,17	0,01	8,3	1,8
Sol ferrallitique typique remanié induré sur plateau	Sable 90% Argile 10% Eléments grossiers 75% Profondeur 30-115 cm	0,07	22,97	**72,43**	0,05	4,28	0,2
Sol hydromorphe de bas-fond	Argile 90% Limon 10% Eléments grossiers 0% Profondeur 45-150 cm	0,43	30,29	**63,13**	0,12	5,47	0,56

D'après ce tableau, les végétations boisées se développent plus sur les chaînons à sol ferrallitique à fort taux d'argile. L'argile a pour propriété de conserver l'humidité et de favoriser la fertilité du sol en fixant l'humus. Quant aux bas-fonds, à cause de l'hydromorphie interne variable, ils supportent un taux de boisement moins perceptible. En revanche, les sols ferrallitiques des plateaux sont plus riches en sable et leur bonne perméabilité est mieux adaptée aux formations arbustives. En définitive, la morpho-pédologie joue aussi un rôle déterminant dans l'organisation de la végétation.

3.3. Discussion

Les résultats indiquent une originalité des caractéristiques du topoclimat et de la végétation liée à la combinaison de différentes conditions du milieu. Dans ce sens, Rhanem (2013)

affirmait que l'interaction entre tous les éléments topoclimatiques originaux des massifs montagneux du Maroc fait naître une grande diversité forestière en termes de composition, de structure et de fonction. De son côté, Kouakou (2019) voit que la combinaison des altitudes et de la végétation luxuriante des montagnes de l'Ouest ivoirien exacerbe la pluviométrie, principal élément du topoclimat orographique dans le secteur de la ville de Man. Jadis, une observation ayant prévalue est que l'organisation de la végétation sur un transect est intimement liée aux formations superficielles. Selon Avenard (1975), le boisement est plus lié à la profondeur et à la texture (proportion d'argile ou de sable) du sol qu'à la position topographique. Cette règle ne correspond pas entièrement à la réalité du secteur d'étude. En fait, les sols ferrallitiques à texture argileuse peu profonds sur les roches volcano-sédimentaires des chaînons développent des formations plus boisées ; l'altitude et les pentes élevées étant un frein à la dégradation anthropique. Par contre les plateaux sur sols ferrallitiques profonds à texture sableuses sur granite, plus accessibles, sont plus arbustifs.

Conclusion

Les caractéristiques topoclimatiques et végétales du secteur étudié reflètent bien les conditions naturelles générales du milieu tropical humide : la pluviométrie et la température élevées toute l'année, la végétation abondante. Cependant localement, la dénivellation du terrain est de 250 m, les pentes varient entre 0 et 41°, la température différentielle de 1°C et la variation des précipitations de 12 mm par an. Les contrastes sont alors moins significatifs. Aussi, l'organisation végétale résulte-t-elle d'une combinaison de certains facteurs. Les chaînons rocheux à sol argilo-sableux peu profond, moins pluvieux avec une température douce et une pente forte, abritent les végétations boisées. En revanche, les plateaux à sol arénacé profond, plus chaud et pluvieux, à pente faible développent les végétations arbustives. En définitive, l'organisation de la végétation du domaine collinéen de la chaîne Baoulé n'est pas soumise aux seuls facteurs topoclimatiques, mais aussi aux conditions édaphiques et anthropiques.

Bibliographie

Avenard J.-M., 1975 : *Géomorphologie et répartition des formations végétales dans la région du Foro-Foro, Nord de Bouaké*, ORSTOM, Adiopodoumé, 55 pages.

Douguédroit A., 2019 : La modélisation topoclimatique de la température et son application à l'extrême sud-est français, *32ème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie : Climat, ville et environnement*, Thessalonique, Grèce, 29 mai – 1er juin 2019, 453-458.

Douguedroit A., 1984 : Comparaison entre modèles d'étagement de la végétation et de gradient thermique topoclimatique à partir du cas des Alpes du Sud, *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, **131**, **2-4**, 181-190

Kouakou K. B.-Y, 2019 : *Configuration topoclimatique et dynamique des inondations dans la ville de Man (Côte d'Ivoire)*, Thèse de Doctorat de géographie, UAO Bouaké, 330 pages.

Lebourgeois F., 2006 : *Topoclimat, cours n°2 de Bioclimatologie*, AgroParisTech, Paris, 40 pages.

Rhanem M., 2013 : La topoclimatologie, un outil au service de l'écologie. Applications et implications possibles au niveau de la gestion des forêts d'altitude des montagnes du Moyen et Haut Atlas (Maroc), *Quad. Bot. Amb. Appl*., **24,** 77-107.

Van Hamme T., 1992 : La pluie et le topoclimat, *Hydrol. Continent*., **7/1,** 51-73.

IMPACTS DU CLIMAT SUR LES ÉCOSYSTÈMES DE MANGROVE DANS LA ZONE CÔTIÈRE CONGOLAISE

Cris Chesnel MAKETO

Centre de Recherches et d'Études sur l'Environnement – CR2E, École normale supérieure, Université Marien Ngouabi Congo, BP 3162 Brazzaville, site www.cr2e.cg , maketocriswilliam@gmail.com

Résumé : *La présente étude vise à analyser les impacts du climat sur les écosystèmes littoraux congolais. Pour cela, nous avons utilisé différentes données climatiques issues des archives et des observations de terrain. Les différentes données collectées ont fait l'objet de traitements statistiques. Les résultats indiquent que les précipitations et les températures suivent des tendances opposées. Pour la période allant de 1929 à 2021, les précipitations baissent soit 1220 mm par an alors que les températures augmentent. À cette évolution des températures et des précipitations s'ajoutent plusieurs effets importants sur la mangrove : perte de la biodiversité avec disparition de la mangrove. Toutefois, les impacts du climat sur le littoral se superposent aux effets globaux du climat : élévation du niveau de la mer, recul du trait de côte et érosion côtière menaçant les forêts de mangrove.*

Mots-clés *: changement climatique, littoral, impacts, mangroves.*

Abstract: impacts of climate on mangrove ecosystems in the Congolese coastal zone. *The present study aims to analyse impact of climate on mangrove ecosystems on the Congolese coast. To do this, we used various data from archives, field observations and climate data. The various data collected were statistically processed. The results show that rainfall and temperature follow opposite trends. For the period from 1929 to 2021, precipitation tends to decrease while temperatures increase. In addition to these changes in temperature and rainfall, there are a number of other impacts on the mangrove: loss of biodiversity with the disappearance of the mangrove. However, coastal climate impacts overlap with global climate impacts, including sea level rise, coastline retreat and coastal erosion, which threaten mangrove forests.*

Key words: climate change, impacts, mangroves.

Introduction

Le changement climatique constitue une menace réelle pour l'environnement du littoral congolais en mettant en péril de nombreux écosystèmes et activités humaines. On note l'augmentation de la température de l'air, la perturbation des précipitations, l'élévation du niveau des eaux océaniques, le recul du trait de côte et des inondations. Face à des pressions démographiques croissantes et à une exploitation accrue de ces ressources, le littoral congolais connaît une dégradation importante de ses écosystèmes. Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2001) identifie plusieurs problèmes environnementaux affectant les littoraux (érosion des côtes, inondations, pollution, déforestation, intrusions salines, perte de la mangrove), qui sont à l'origine de leur dégradation. La mer présente des effets néfastes sur les mangroves, lorsqu'elles sont soumises à des contraintes terrestres ou manquent de sédiments. La zone littorale congolaise fait face à la montée des eaux océaniques. La présente étude permet de mieux connaître les milieux littoraux du Congo en vue d'assurer une meilleure gestion intégrée de l'environnement côtier congolais dans un contexte de changement climatique. Par ailleurs, les mangroves occupent les 2/3 de la zone littorale congolaise. L'analyse des impacts des aléas climatiques sur les mangroves a fait l'objet de nombreux travaux dont ceux de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM, 2020), de l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID, 2017), de Gaudin C. (2006) et Djomo B. (2011). Au niveau national, la littérature axée sur les mangroves reste peu développée. Néanmoins, on peut noter les travaux de C. C. Maketo (2022), de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2019), de Rénatura Congo (2012), de N'daba E. S. (2017) et d'Abialo G. C. (2004). Le but de notre travail est d'analyser les impacts du climat sur les mangroves de la zone côtière congolaise.

1. Présentation de la zone d'étude

La zone côtière congolaise (figure 1) se situe au sud-ouest du Congo, dans une zone géographique s'étendant entre 4° et 5° de latitude sud et 11° et 13° de longitude est. Longue de 170 km et large de 60 km, elle est limitée au nord par la frontière gabonaise, au sud par celle du Cabinda, à l'est par la chaine de montagnes du Mayombe et à l'ouest par l'océan Atlantique. Elle couvre les départements du Kouilou et de Pointe-Noire sur une superficie de 10.200 km². Une telle région naturelle abrite plusieurs formations végétales dont les écosystèmes de mangroves (planche 1) faisant face aux perturbations climatiques depuis quelques années.

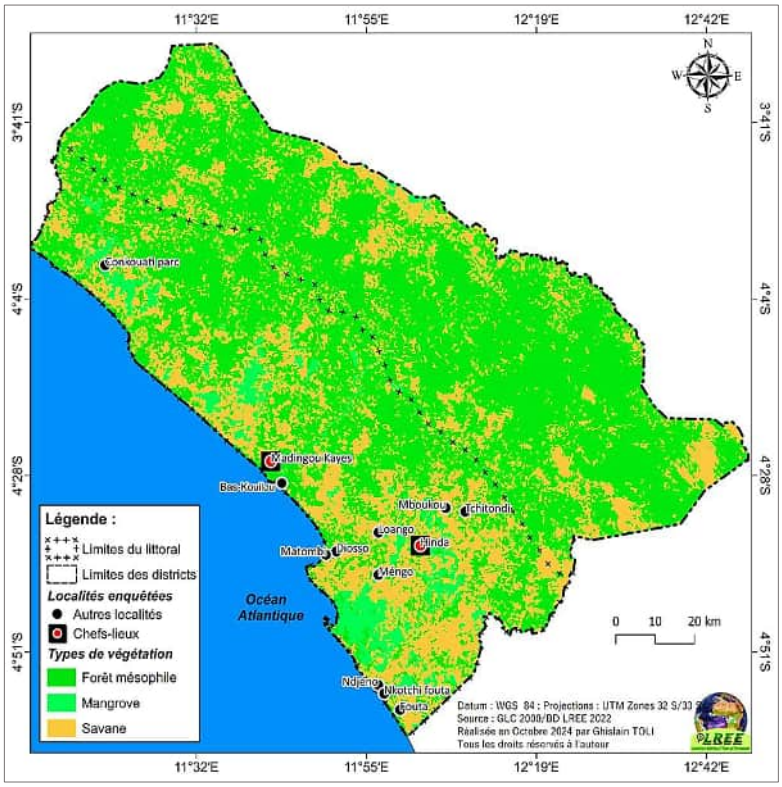


Figure 1. Végétation de la zone d'étude

Les mangroves (planche 1) poussent le long des baies de Pointe-Noire (Songolo, Ngoyo), celle de Loango, Mvassa, Nkotchi Fouta ainsi que dans la réserve naturelle de Conkouati-Douli. Le *Rhizophora Racemosa* représente le genre de palétuvier le plus dominant. Celles-ci se dégradent sérieusement, menaçant ainsi de disparition.



Photo 1 : Mangroves dans les eaux saumâtres à Songolo (prise de vue, Maketo, 2022)



Photo 2 : Mangroves dans les eaux saumâtres à Loango (prise de vue, Maketo, 2022)

Planche 1 : Écosystèmes de mangroves observés le long de la baie de Pointe-Noire

2. Données et méthodes

Dans le cadre de la présente étude, nous avons utilisé les données climatiques fournies par le service de la Météorologie nationale du Congo. Après la collecte, celles-ci ont été intégrées à la base de données du Centre de recherche et d'études sur l'environnement (CR2E). Il s'agit de données journalières relatives aux précipitations et aux températures de l'air, couvrant la période allant de janvier 1929 à décembre 2021. Le traitement des données s'est fait en appliquant les statistiques de base (moyenne mobile, anomalies centrées réduites). Concernant l'évaluation de l'impact du système climatique sur les écosystèmes de mangroves, nous nous sommes intéressés aux observations directes sur le terrain. Quoique limitée, cette démarche nous a permis de ressortir les phénomènes hydro climatiques responsables de la dégradation des mangroves dans la zone étudiée.

3. Résultats

3.1. État des précipitations

3.1.1. Régime pluviométrique.

La figure 2 présente le régime des précipitations moyennes mensuelles de la zone côtière congolaise à partir des valeurs centrées réduites. Son régime pluviométrique est bimodal avec une alternance des saisons (pluvieuses et moins pluvieuses). En moyenne, février, mars et novembre restent les mois le plus pluvieux avec des totaux pluviométriques pouvant dépasser 190 mm d'eau. Toutefois, les mois de juin, juillet, août et septembre enregistrent des faibles totaux pluviométriques.

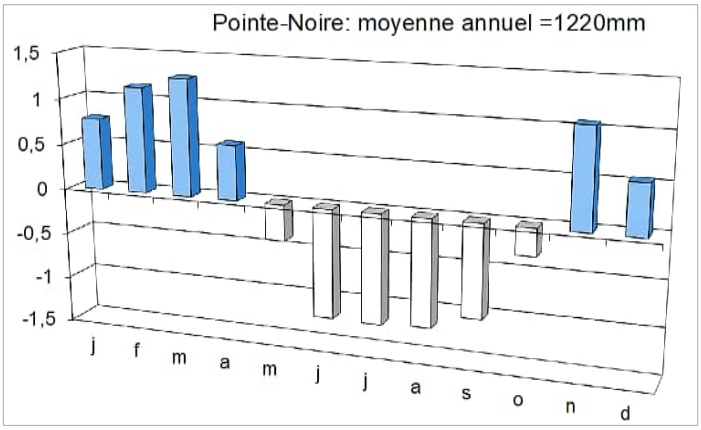


Figure 2. Régime pluviométrique du littoral congolais (1929-2021).

3.1.2. Évolution interannuelle des précipitations

La figure 3 dénote l'évolution interannuelle des précipitations sur le littoral congolais. Celle-ci se caractérise par une stabilité autour de la moyenne de 1929 à 2021 pouvant affecter le développement de la flore des mangroves dans les eaux saumâtres de la zone côtière congolaise.

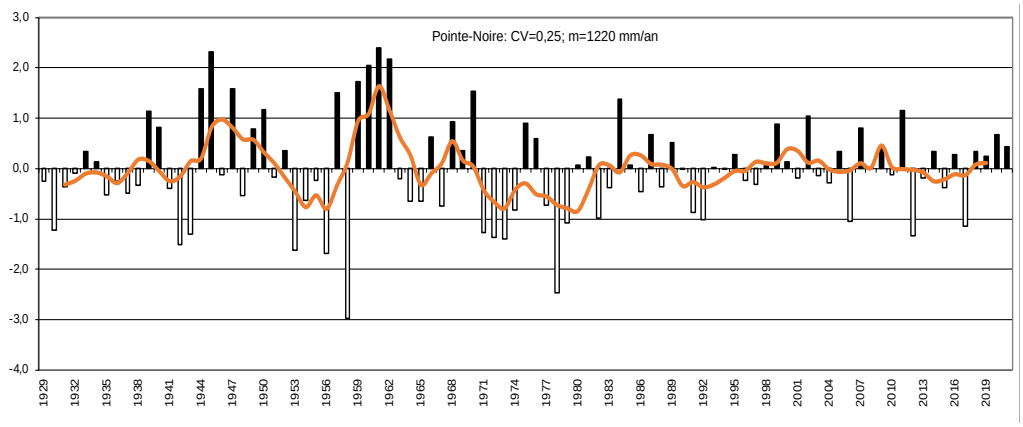


Figure 3. Évolution pluviométrique sur le littoral congolais (1929-2021).

3.2. Rythme des températures de l'air

3.2.1. Régime thermique

Les températures minimales et maximales (figure 4) mensuelles varient entre 22,3 et 28,5°C. Pendant les mois de février, de mars et d'avril, les températures moyennes restent élevées sur le littoral congolais (27° C). Cependant, les mois de juillet et celui d'août enregistrent de faibles températures moyennes avec 22° C. Les températures minimales et maximales sur le littoral congolais montrent une hausse ces dernières décennies.

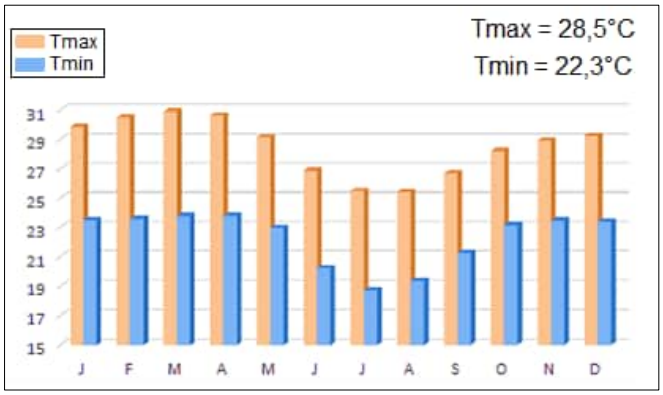


Figure 4. Régime des températures minimales et maximales sur le littoral congolais (1929-2021)

3.2.2. Évolution interannuelle des températures de l'air

La figure 5 représente l'évolution des températures minimales et maximales du littoral congolais. Sur une période de 1929 à 2021, elles accusent une tendance à la hausse, tendance allant dans le sens du réchauffement global.

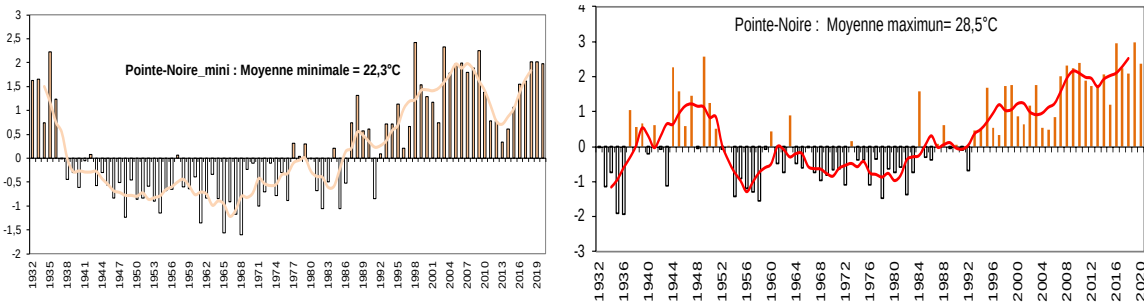


Figure 5. Évolution des températures minimales et maximales sur le littoral congolais (1929-2021).

3.3. Impacts du climat sur les mangroves

Au niveau de la zone côtière congolaise, les écosystèmes de mangrove subissent les effets de variation du climat au niveau du contact avec l'océan Atlantique. En effet, la hausse des températures, la perturbation des précipitations et la montée des eaux océaniques modifient le climat local. Une telle variation augmente les eaux saumâtres au niveau du littoral congolais et dégrade les forêts de mangrove. L'augmentation du taux de salinité se ressent dans les sites où se situent les mangroves. L'acidification de l'océan influence le développement des mangroves. Les écosystèmes littoraux de mangrove connaissent ainsi une diminution de leur surface.

La zone littorale congolaise présente un profil topographique bas, moins de 100 mètres d'altitude, constitue un environnement naturel fragile. Nos observations de terrain indiquent que la *Rhizophora racemosa* représente l'espèce la plus exposée à l'érosion côtière (la planche 2).



Photos 3. Mangroves à Loango (prise de vue, Makéto 2023)



Photos 4. Mangroves à Loango (prise de vue Makéto, 2023)

Planche 2. Érosion côtière sur le littoral congolais

Le phénomène d'inondation s'avère fatal aux palétuviers. Ne supportant pas l'augmentation de la teneur en sel des eaux océaniques. Les menaces pesant sur une telle ressource entrainent la perte de la biodiversité (disparition des crabes, des mollusques, des crevettes et des poissons).

Discussion

L'évolution climatique actuelle constitue une menace évidente pour l'environnement côtier. On note sur le littoral congolais : élévation du niveau des eaux océaniques et acidification de l'océan détruisent la flore des mangroves dans les eaux saumâtres. Telle est la conclusion à laquelle étaient parvenus Maketo C. C. (2022) et Samba G. (2020) et Ndaba E. S. (2017). Selon le scénario RCP 8.5 du GIEC (2013), l'élévation du niveau océanique est comprise entre 0,52 et 0,98 m, avec un rythme moyen de 8 à 15 mm an d'ici 2100. Suivant l'évolution climatique, un tel phénomène entraîne des inondations et une érosion des côtes. Une telle montée des eaux océaniques entraîne la disparition des mangroves. Les travaux de la Commission des Forets d'Afrique Centrale (COMIFAC, 2017) montrent que les mangroves se trouvent affectées par la montée des eaux océaniques et la forte pénétration des eaux salées. En fait, la flore des mangroves représente l'habitat écologique des crevettes, des poissons, des crustacés et des mollusques. La crise climatique s'accompagne d'une dégradation de l'écosystème de mangrove et de la perte de la biodiversité dans cette zone.

Conclusion

Le présent travail a analysé les impacts du climat sur les écosystèmes de mangrove du littoral congolais. Au cours de la période allant de 1929 à 2021, les précipitations présentent une tendance à la baisse alors que les températures augmentent. Ainsi, les mangroves font face à des conditions climatiques défavorables surtout avec l'élévation du niveau des eaux océaniques, l'acidification des océans ainsi que le recul du trait de côte réduisant leur surface. Comme perspectives scientifiques, la présente étude s'ouvre sur la vulnérabilité et la résilience des mangroves du littoral congolais face au climat.

Bibliographie

COMIFAC, 2017 : *La gestion communautaire des écosystèmes de mangroves en Afrique centrale, Enjeux et perspectives*, Rapport du forum sous-régional, Douala, 76 p.

Djomo Belmond, 2011 : *Indicateurs des ressources marines et côtières en Afrique centrale, Atelier sur les statistiques environnementales*, Yaoundé, 18 p.

FAO, 2019 : *Évaluation finale du projet, Gestion intégrée des mangroves et zones humides associées, et des écosystèmes forestiers côtiers de la République du Congo*, Rome, 50 p.

Gaudin Charline, 2006 : *Cadre juridique international et national de protection des mangroves*, *Études juridiques*, Rome, 94 p.

GIEC, 2001 : *Incidences de l'évolution du climat dans les régions, Évaluation de la vulnérabilité en Afrique*, Rapport spécial pour l'Afrique du Groupe de travail II, Genève, 60 p.

GIEC, 2013 : *Changements climatiques, Les éléments scientifiques, Résumé à l'intention des décideurs*, Contribution du groupe de travail I, Cambridge University Press, Cambridge, 222 p.

Maketo Cris Chesnel, 2022 : *Enjeux d'adaptation de la ville de Pointe-Noire au climat*, Mémoire de Master, Spécialité Géographie physique (Climatologie), Université Marien Ngouabi (ENS), 75 p.

Ndaba Emercia Stevan, 2017 : *Les impacts du changement climatique sur le littoral congolais*, Mémoire de Master, Spécialité Géographie physique (Climatologie), Université Marien Ngouabi (ENS), 66 p.

OMM, 2020 *: État du climat en Afrique,* Genève, n° 1235, 37 p.

Rénatura Congo, 2012 : *Protection des mangroves en République du Congo, Rapport d'activités, journée mondiale des zones humides*, Pointe-Noire, 13 p.

Samba Gaston, 2020 : *Le climat du Congo-Brazzaville,* Paris, Éd. L'Harmattan, Coll. « Études africaines », 241 p.

Abialo Guy Clotaire, 2004 : *Conservation et gestion durable de la mangrove de la zone côtière du Kouilou avec la participation des communautés locales établies dans cette zone du Sud-Congo*, Rapport sur la situation des ressources en mangroves, Brazzaville, 80 p.

USAID, 2017 : *Évaluation de la vulnérabilité au changement climatique dans les régions de mangrove en Sierra Leone*, Rapport abrégé, Accra, 52 p.

VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA MANGROVE DES ESTUAIRES DU SALOUM ET CASAMANCE (SÉNÉGAL)

Joel Lamine Isidore MANGA[1] ; Daniel GOMIS[2] ; Diatou THIAW[3] ; Iulian-Horia HOLOBÂCÄ[4] ; Sidia DiaoumaBADIANE[4]

[1]*Département géographie université cheikh Anta DIOP de Dakar/Sénégal, joellamineisidore@gmail.com)*
[2]*département de géographie, université cheikh Anta DIOP de Dakar/Sénégal, danyephata@gmail.com)*
[3]*Département de géographie, université cheikh Anta DIOP de Dakar/Sénégal e, diatou.thiaw@ucad.edu.sn)*
[4]*Université Babes-bolyai, Professeur des universités, iulian.holobaca@ubbcluj.ro)*
[5]D*épartement de géographie, université cheikh Anta DIOP de Dakar/Sénégal, sidia.badiane@ucad.edu.sn)*

Résume : *L'objectif de cette étude est d'apporter des éléments de réponse sur la variation temporelle des précipitations et son influence sur le carbone des mangroves. La méthodologie adoptée à consister à un inventaire floristique, à une cartographie diachronique puis à l'analyse de l'indice standardisé des précipitations. La méthode gains-pertes est utilisée pour apprécier l'évolution du carbone entre 1979 et 2024. Les pertes en superficie sont respectivement estimées à 13,6% et 10% (1979-1999) et l'augmentation de 31,1% et 37,57% (1999-2024) au Saloum et en Casamance. Le stock total de carbone est évalué à 83,92 t/h en Casamance 24,7 t/h au Saloum. La perte est évaluée à 610481 et 231685 tC entre1979 et 1999 Casamance et au Saloum.*

Mots clés : *dynamique, variabilité climatique, mangrove, carbone*

Abstract: Climatic variability and dynamics of the mangrove of the Saloum and Casamance Estuaries (Senegal). *Influence on mangrove carbon. The methodology adopted consisted of a floristic inventory, diachronic mapping and analysis of the standardized rainfall index. The gain-loss method is used to assess carbon evolution between 1979 and 2024. Area losses are estimated at 13.6% and 10% (1979-1999) respectively, and increases of 31.1% and 37.57% (1999-2024) in Saloum and Casamance. Total carbon stock is estimated at 83.92 t/h in Casamance and 24.7 t/h in Saloum. Losses were estimated at 610481 and 231685 tC between 1979 and 1999 in Casamance and Saloum. The aim of this study is to provide information on the temporal variation in rainfall and its*

Key words: *dynamics, climate variability, mangroves, carbon*

Introduction

Le Sénégal, à l'instar des autres pays d'Afrique de l'ouest est secoué par les variations climatiques. Il a subi au cours des 50 dernières années, une des plus grandes variations pluviométriques observées à l'échelle du Globe (Aguiar, 2008). La variabilité climatique est particulièrement marquée par l'installation de deux période très sèches (1970-1980 et 1981-1990) (Aguiar, 2008 ; Diédhiou et al.2023 ; DIAW et al.). En conséquence, une diminution générale des précipitations a été enregistré avec un déficit de 30% en Casamance accompagné d'une contraction de la saison des pluies (passant de 5 mois à trois mois) (Marius et Lucas,1982). Les conséquences de cette variabilité sont diverses : une augmentation importante de la salinité des cours d'eaux, et des nappes phréatiques, une modification considérable de la zonation végétale et l'extension des zones nues « tannes » au dépens de la mangrove. Cela a également conduit à des changements dans les caractéristiques morphologiques et géochimiques des sols (Ibidem, 1982). Au Saloum les superficies occupées par la mangrove sont passées de 68930 à 59550 hectares entre 1979 et 1999 et en Casamance les superficies sont passée de 68525 à 61250 hectares pour la même période (Andrieu, 2019). Or les études soumises à l'évaluation du carbone stocké par les formations forestières l'ont classée parmi forêts tropicales les plus productifs et plus riches en carbone. La biomasse de la mangrove peut atteindre 700 t/ha dans certains endroits (Jadot, 2017). Elle contribue significativement au cycle mondial du carbone par leur importante fixation de CO_2 dont le taux de piégeage peut aller de 2,5 à 30,5 tonne de carbone par hectare (Jadot, 2017). Pour Murdiyarso et al. (2013) les mangroves contiennent jusqu'à 20 Pg C. Les émissions liées à la déforestation se situe entre 0,02 et 0,12pgc par an. Malgré l'attention accordée au carbone stocké dans les mangroves et les

taux de déforestation, les impacts du changement dans les étendues de mangrove sur le carbone stocké restent toujours inconnu (Richard et al. 2020). C'est pourquoi cette étude est intéressante pour analyser la concomitance entre l'évolution de la mangrove et de la pluviométrique ainsi que les changements dans les stocks de carbone.

1. Présentation la zone

La figure ci-dessous montre la situation géographique du Sénégal et celle des estuaires du Saloum et de la Casamance. En se basant sur l'étude de Sagna et al.,2015, L'estuaire du Saloum et de la Casamance se situe respectivement dans la zones climatiques Nord-soudanienne et Sud soudanienne. La pluviométrie moyenne annuelle est estimée en moyenne entre 500 et 1000 mm en zone nord-soudanienne et entre 1000 et 1500 mm en zone sud-soudanienne. Le climat est caractérisé par l'alternance d'une saison sèche (Novembre –Mai) et une saison humide (Juin-octobre). L'estuaire du Saloum et de la Casamance abritent les formations de mangroves les plus vastes et plus denses du Sénégal. Par ailleurs la nature du substrat est différente avec la présence d'une vase argileuse en Casamance et d'une vase sableuse au Saloum (Marius, 1982).

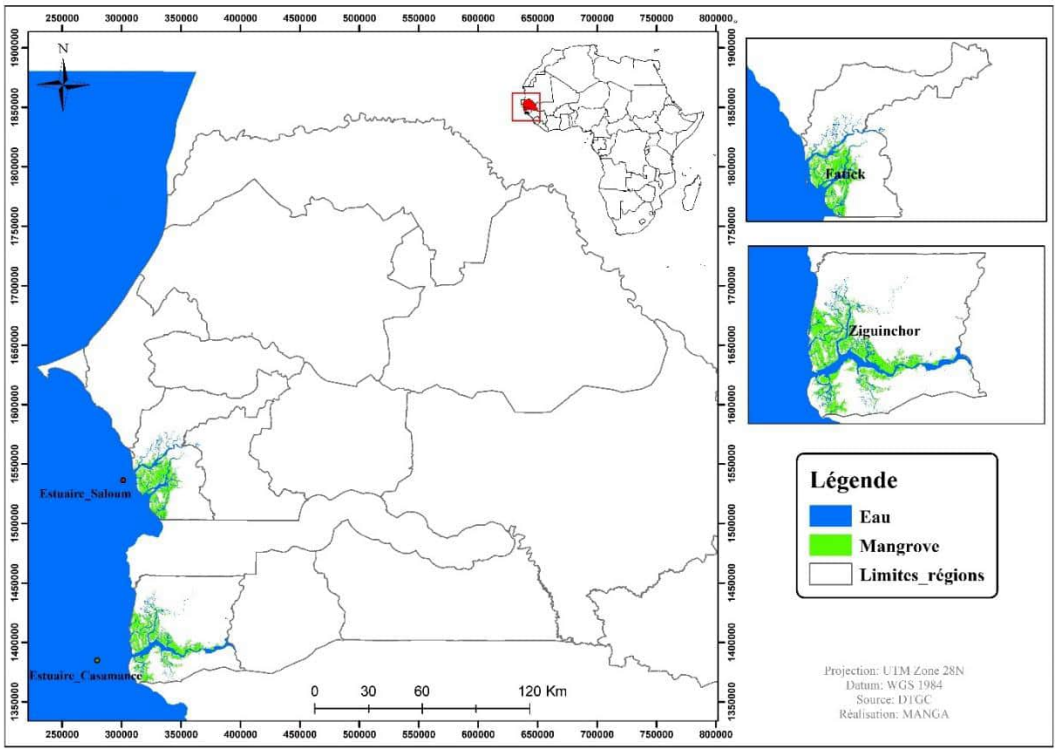


Figure 1: localisation des estuaires du Saloum et Casamance

Sur le plan administratif, les estuaires du Saloum et Casamance se trouve respectivement dans les régions de Fatick et Ziguinchor.

2. Méthodologie

La démarche méthodologique adoptée dans cette étude combine méthodes, techniques, instruments et outils très diversifiés. D'abord, elle repose sur une revue documentaire. Elle a permis de faire une lecture globale des travaux relatifs à la variabilité pluviométrique, la dynamique et le carbone de la mangrove. En plus, nous avons procédé à un inventaire floristique par la mise en place des placettes dans la mangrove. Le choix des placettes est fait de façon systématique par superposition d'une grille dans une carte représentative des unités paysagère. A gauche on a l'estuaire de la Casamance et à droite l'estuaire du Saloum

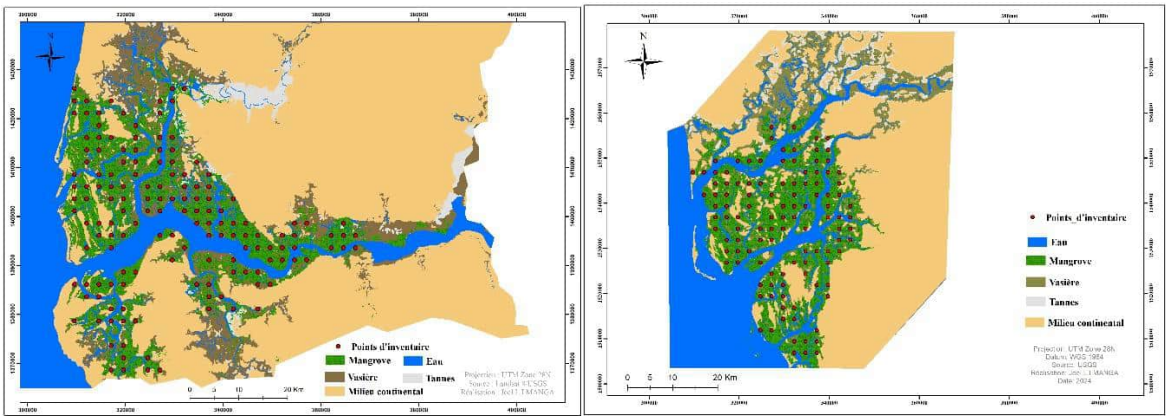


Figure 2: Localisation des placettes d'inventaire au Saloum et en Casamance

Les paramètres mesurés sont le diamètre, la hauteur et identification des espèces. En fin, l'usage des images satellitaire pour l'analyse de l'évolution de la mangrove depuis 1979 jusqu'à 2024. Pour le traitement des données nous avons utilisé différentes techniques selon la donnée. Pour évaluer la biomasse et le carbone stocké par la partie aérienne et la biomasse souterraine, nous avons exploité les équations développées par Chave et al. 2005. L'analyse de la variation inter-annuelle du carbone stocké par la biomasse aérienne des mangroves est basée sur la différence des superficies d'un même réservoir d'une années X par rapport à une année Y. La formule proposée par GIEC est $\Delta C = (C_{t2} - C_{t1}) / (t_2 - t1)$ avec : ΔC = variation annuelle du stock de carbone dans le bassin (t C/par an), ΔC_{t1} = stock de carbone dans le bassin en un temps t_1, ΔC_{t2} = stock de carbone dans le bassin en un temps t_2. Par ailleurs, la règle de trois a permis suivant les données d'inventaire floristique de déterminer les moyennes de carbone stocké par la mangrove durant les années précédentes (2005,1999,1986, 1979) par une analyse multi-date du changement de couverture du sol dans l'écosystème de mangrove. La corrélation de l'évolution de la mangrove avec celle de la pluviométrie est réalisée par l'analyse croisée des moyennes décennales de la pluviométrie annuelle de deux station météorologique, l'une dans la zone nord-soudanienne (Kaolack) et l'autre dans la zone sud-soudanienne (Ziguinchor).

3. Résultats

Les résultats sur l'évolution inter-annuelle de la pluviométrie, issus des figures ci-dessous montrent une variabilité climatique marqué par une réduction des précipitations de la période allant de 1970 à 1990. La pluviométrie moyenne décennale dépasse rarement les 1300 mm dans la zone sud-soudanienne (figure a) et reste inférieur à 600 mm sur toute la période de 1970 à 1990 dans la zone nord-soudanienne (figure b). Cependant, dans la période de 2000 à 2020, les précipitations ont enregistré une augmentation avec des moyennes décennales supérieures à 650 au centre et 1500 au Sud dans la période 2010 et 2020

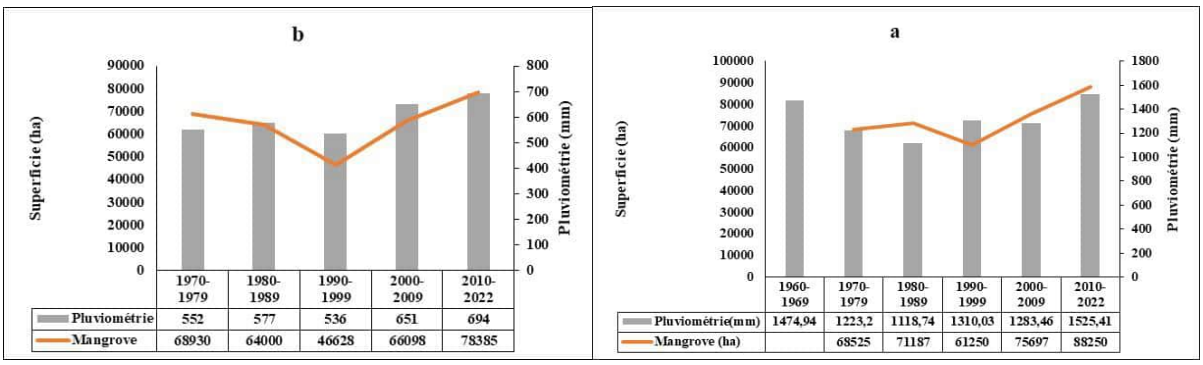


Figure 3: Variation pluviométrique et dynamique des mangroves au Saloum (b) et Casamance (a) entre la période 1960 et 2020

La superposition de la courbe des précipitations avec celui de la dynamique des mangroves montre que la variation de la pluviométrie influence directement l'évolution des mangroves. Les années 1970,1980 et 1990 marquées par un déficit hydrique, ont été associées à une diminution de la couverture des mangroves. Cette diminution est plus prononcée au Saloum qu'en Casamance. Entre 1970 et 1990 les mangroves ont passée au Saloum de 68930 à 46628 ha, et en Casamance de 68525 à 61250 ha. Selon Marius (1982), elle est liée à un déficit hydrique qui se manifeste par une salinité des nappes et des sols atteignant respectivement 3 et 5 fois la salinité de l'eau de mer. Il advienne aussi une baisse généralisée du pH et la présence de gypse dans les tannes. L'ensemble de ces facteurs conduits à une augmentation de l'étendue des tannes au dépens de la mangrove et une concentration de la mangrove sous forme de frange étroite en bordure des marigots. L'augmentation des superficies observée au cours des dernières décennies : 88250 ha en Casamance et 78385 au Saloum en 2024 peut être attribuée à l'augmentation des pluies. Cependant, les activités de reboisement semblent occupées une place importante dans la restauration des mangroves. Avec la finance carbone, de nombreux projets menés par OCEANIUM (avec levelihood, 8000 hectares reboisés), Manco (avec Weforest, 7000 hectares reboisés), Allcot (7000 hectares) (Salva Terra et KINOME, 2023). Ces projets ont favorisé l'augmentation de la biomasse et du carbone séquestré par les mangroves.

3.1. Variation temporelle du carbone des mangroves

L'évaluation de la variation temporelle des étendues de la mangrove et du carbone potentiellement stocké montre que les mangroves ont une fonction double sur le climat. En se basant sur les résultats issus du **tableau 1**, la mangrove peut être perçue comme une source de carbone entre 1970 -1990 tandis que depuis les années 2000 elle devient un puit de carbone. Durant la première période, la perte des superficies de mangrove est associée à une perte de carbone. Au Saloum et en Casamance, le carbone passe de respectivement de 1702568 à 1470884 tonnes et 5750274 à 5139793 tonnes entre 1979 et 1999. Depuis les années 2000, le carbone stocké par les mangroves a augmenté. Les gains de carbone sont estimés à 303489 au Saloum et à 717306 en Casamance entre 2004 et 2024.

Tableau 1. Variation temporelle de la mangrove et du carbone des estuaires du Saloum et Casamance

Années	1979	1986	1999	2004	2024	1979-1986	1986-1999	1999-2004	2004-2024
Mangrove (ha) Saloum	68930	46628	59550	66098	78385	-22330	+12922	+6548	+12287
Carbone stocké (tC) (Saloum)	1702568	1151710	1470884	1632620	1936109	-550858	+319174	+161736	+303489
Mangrove (ha) Casamance	68525	71187	61250	75697	84245	+2662	-9937	14447	8548
Carbone Stocké (tC) Casamance	5750274	5973656	5139793	6352113	7069419	+223382	-833863	+1212320	+717306

ha : hectare, tC : tonne de carbone,

L'augmentation récente du carbone stocké par les mangroves est le résultat d'une prise de conscience de l'importance de la mangrove dans la lutte contre les changements climatiques. Cette croissance peut en plus du retour des précipitations liées aux effort du gouvernement sénégalais. Après avoir reconnu les forêts comme un important puit de carbone, il a décidé de s'appuyer sur les formations de mangrove afin de réduire ses émissions de gaz à effet de serre. Suite à l'accord de Paris de 2015, le gouvernement du Sénégal a inscrit la restauration de mangrove comme un des objectifs de sa contribution déterminée au niveau National (CDN, 2021). Ainsi, le Sénégal prévoit ainsi de restaurer 1300 ha de mangrove par an de façon inconditionnelle, ajoutés aux 21000 ha de plantation diverses (Salva Terra et KINOME, 2023).

Conclusion

Les mangroves sont particulièrement sensibles aux variations climatiques et son évolution est caractéristique des conditions du moment. Les mangroves du Saloum comme de la Casamance ont vu leurs superficies se rétrécir dans la période de 1970 jusqu'à 1990 avant de connaitre une expansion dans les années 2000 et 2010 grâce au retour des précipitations d'une part et la restauration assistée par reboisement d'autre part. La perte du carbone due à la dégradation des mangroves est très significative au Saloum où on enregistre une perte 550858 tonnes entre les années 1970 et 1980. Les gains de carbone évalué à 303489 au Saloum et 717306 en Casamance justifie l'impact des précipitations sur l'évolution de la mangrove

Remerciement

Nous témoignons notre reconnaissance à la population du Saloum et de la Casamance pour leur collaboration lors des travaux de terrain. Nous remercions chacun des membres de l'équipe pour leur engagement et également à toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail**.**

Bibliographie

Blasco F., 1982 : Ecosystèmes mangroves : Fonctionnement, utilité, évolution. Actes symposium international sur les lagunes côtières. *Océanologica Acta*, **4**, 225-230.

Diaw A.T., Sané T. et Sagna, P., DIOP M., 2022 : Péjoration climatique et dégradation des formations forestières en haute-Casamance (Sénégal). *Geographica reports of* Tokyo Metropolitan University, **42**, 31-40.

Diédhiou Y.M., Sagna P. et Sané T., 2023 : Variabilité pluviométrique et stratégies d'adaptation des agriculteurs de la commune de Bona dans le Département de Bounkiling (région de Sédhiou). Acte colloques, 88-102.

Jadot C.,2017 : *La mangrove, un écosystème au service de l'homme*. Es Caribbean LLC, 14 pages.

Lazar A., 2008 : *Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004. Milieux et Changements globaux*. Université du Québec à Monréal, 208 p.

Marius C. et Lucas J., 1982 : Evolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance). Actes Symposium International sur les lagunes côtières. *Oceanologica Acta*, **4**, 151-160.

Murdiyarso D., Kauffman J.B. et Verchot L.V., 2013 : Les stratégies d'atténuation du changement climatique devraient inclure les zones humides tropicales. *Future Science*, **4**, 509-517.

Salva Terra, KINOME., 2023 : *Analyse de la faisabilité des différentes options de Financement de la restauration des mangroves au Sénégal sur la base de la finance Carbone*. Rapport d'avancement.

Temilola E. F. et Amanda H.A., 2010: Remote Characterization of Biomass Measurements: Case Study of mangrove Forests. *Sciyo*, **8,** 66-78.

UICN**.,** 2008 : *Rapport final sur Les mangroves du Sénégal : Situation actuelle des ressources, leur exploitation et leur conservation*. Rapport, 66 p.

INFLUENCES DES MARÉES SUR LA BRISE LITTORALE EN MÉDITERRANÉE : LE CAS D'ALICANTE (LEVANT ESPAGNOL)

Samuel MARCHANTE-GIL[1], Salem DAHECH[1]

1 Université Paris Cité, UMR 8586 PRODIG, Paris, France, samuel.marchante-gil@u-paris.fr

***Résumé** : Ce travail préliminaire analyse l'influence des marées sur les brises littorales à Alicante, Espagne. De premiers résultats soulignent une intensification de la vitesse des brises en situation de vives-eaux, et une atténuation de l'inconfort thermique renforcée durant cette période (écart jusqu'à 4°C avec les mortes-eaux).*

***Mots-clés** : brise de mer, marées, confort thermique, adaptation*

***Abstract: Tidal influences on coastal breezes in the Mediterranean: the case of Alicante (Levante, Spain).** This preliminary study analyses the influence of tides on coastal breezes in Alicante, Spain. Initial results show an increase in breeze speed during spring tides, and a reduction in thermal discomfort during this period (difference of up to 4°C compared with neap tides).*

***Keywords**: sea breeze, tides, thermal comfort, adaptation*

Introduction

En Méditerranée, les températures ne cessent d'augmenter, avec une fréquence accrue des canicules (Tejedor *et al.*, 2024). Dans ce contexte, les brises littorales peuvent engendrer un rafraîchissement important des villes côtières. L'agglomération d'Alicante (Levant espagnol) est un terrain d'étude privilégié pour les brises, avec un climat semi-aride chaud et une période estivale propice à leur occurrence. Elles sont documentées par de nombreux travaux (Azorin-Molina, 2009, 2011), et leur effet rafraîchissant est fréquemment souligné (Miró Pérez *et al.*, 2016).

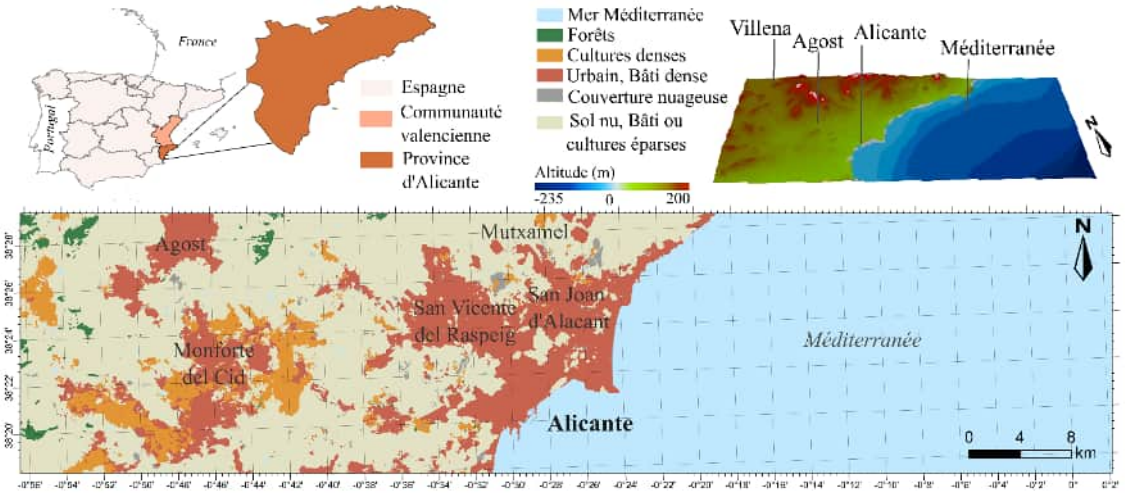


Figure 1. Carte de localisation et du relief d'Alicante (Espagne). Sources: Open Street Map, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM, NASA), European Marine and Observation Data (EMODnet), Sentinel-2 Land Use (NASA, Esri) Projections: EPSG 4326, WGS 84.

Nous cherchons à approfondir la connaissance de ces brises en intégrant le rôle joué par les marées dans leur fonctionnement. Cette thématique n'a pas encore été abordée en Méditerranée, qui possède des marées régulières et documentées (Albérola *et al.*, 1995) pouvant affecter le développement des brises et avoir une incidence sur le confort thermique des littoraux (Fischereit *et al*., 2016, Lee, 2023).

À partir de données météorologiques du réseau de stations météorologiques de l'Institut Valencien des Investigations Agraires (IVIA), nous avons identifié les jours de brises en appliquant un filtre sur nos données en accord avec la littérature (Dahech, 2007, Azorin-Molina,

2011, Lee, 2023), pour une période estivale (juin à septembre) de 2019 à 2023, ce qui nous a ensuite permis de calculer l'indice de confort *THWI Temperature Humidity Wind Index*, basé sur la température, l'humidité relative et la vitesse du vent- (Steadman, 1979). À l'aide de données marégraphiques et du coefficient des marées, nous avons ensuite pu classer nos données selon les périodes de vives et mortes-eaux[1] et conduire une étude préliminaire du confort thermique durant ces périodes.

1. Quelques caractéristiques des brises thermiques

Les stations Agost (38°25'N 0°38'O 181m), Orihuela (38°10'N 0°57'O 98m) et Villena (38°35'N 0°52'O 488m, localisation sur la *Figure 1*), ont été choisies pour leur position, par rapport au littoral et au relief environnant, ce qui se reflète dans leurs cycles de brise respectifs (*Figure 2*). On observe une canalisation des brises sous l'effet du relief pour les sites d'Orihuela et de Villena, localisées dans des secteurs accidentés, dont les cycles se distinguent de la station d'Agost, située dans une plaine côtière.

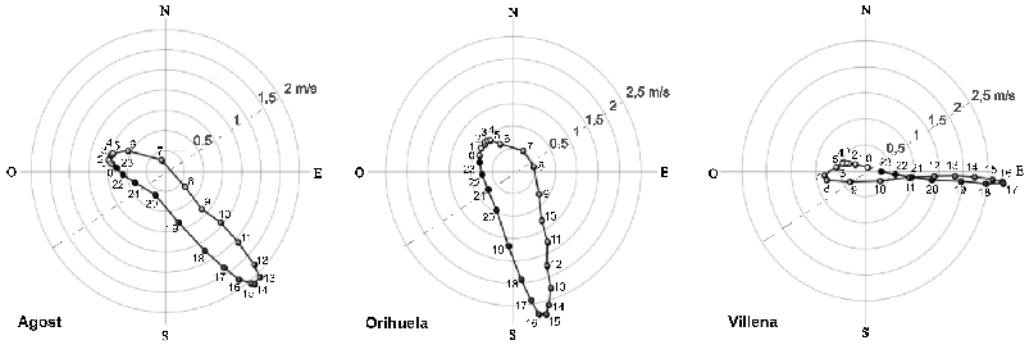


Figure 2. Hodographes des brises à Agost, Orihuela et Villena, avec trait de côte (juin à septembre, 2019 à 2023, IVIA).

Ces brises vont exercer une influence directe sur le confort thermique littoral. Sur nos stations, en situation de brise de mer, on note une diminution de 1 à 3°C entre 12h et 18h. L'indice *THW*, calculé à partir du *Heat Index* (*HI,* Steadman, 1979), intègre la vitesse du vent dans le calcul du confort, et donne une représentation plus réaliste de l'influence du vent sur le confort local.

[1] Les périodes de vives-eaux, associées aux syzygies (pleine et nouvelle lune), sont associées à des marées de forte amplitude. Les périodes de mortes-eaux, associées aux quadratures lunaires, sont caractérisées par des amplitudes inférieures à la moyenne.

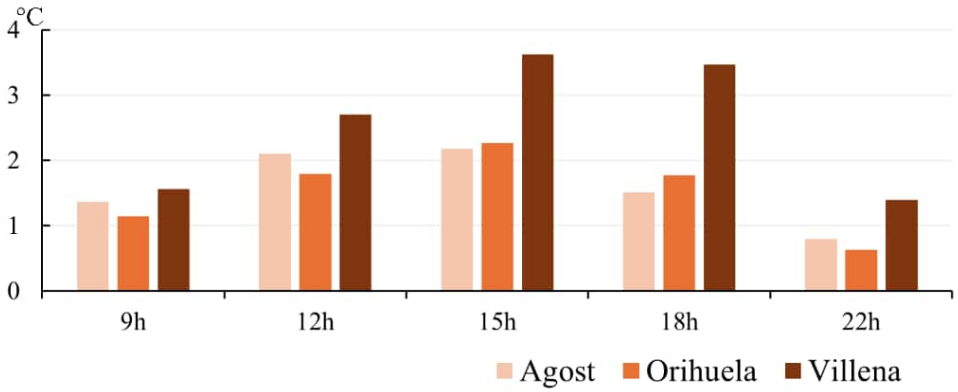


Figure 3. Différence entre le *Heat Index* et le *Temperature Humidity Wind Index* à Agost, Orihuela et Villena en situation de brise (juin à septembre, 2019-2023, IVIA).

En calculant les °C de différence entre le *HI* et le *THW* (*HI – THW*), on observe cette influence. Sur le site d'Agost, proche de la côte, la différence est marquée à 12h et 15h (+2°C), et s'estompe à 18h, tandis qu'à Orihuela et Villena, on constate un décalage plus tardif et une différence renforcée à 15h et 18h (de +2°C à +3,5°C). Le cycle de la brise de mer participe donc à un rafraîchissement de la côte en période estivale.

2. Premiers résultats sur l'influence des marées sur les brises et le confort thermique

Le premier volet de cette approche, effectuée à partir des situations de vives et mortes-eaux, porte sur leur influence sur différents paramètres des brises thermiques : direction et vitesse du vent, pénétration… L'analyse de la vitesse du vent fait ressortir une intensification du vent moyen entre 15h et 19h lors des situations de vives-eaux, avec un écart avec les mortes-eaux allant jusqu'à 1 m/s (*Figure 4*). L'étude de ce paramètre doit être approfondie à une échelle plus fine, en intégrant les cycles journaliers de marées. La direction et la pénétration du vent n'ont pas été abordés pour cette étude préliminaire.

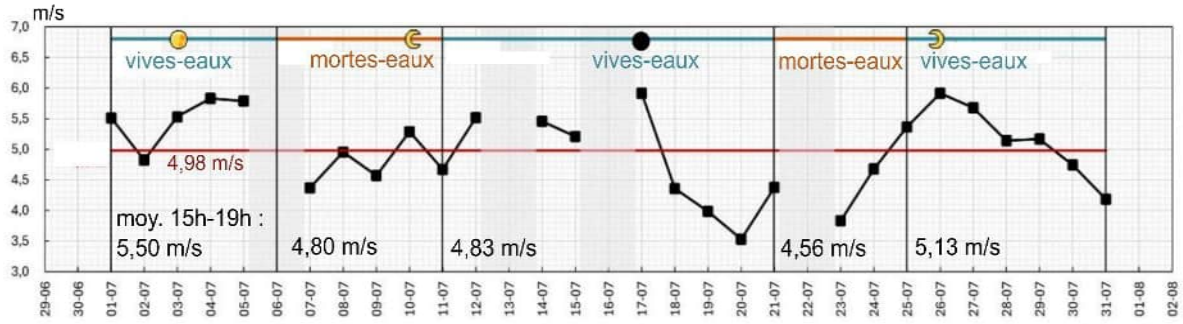


Figure 4. Variations de la vitesse du vent moyen entre 15 et 19 heures en fonction des phases lunaires et de l'état de la marée à Alicante (juillet 2023, Agost, IVIA).

L'étude de la répartition de l'indice *THW* (rapporté en °C) selon les périodes de marées fait ressortir une différence allant jusqu'à 4°C pour des périodes de vives et mortes-eaux adjacentes, avec des périodes de vives-eaux à l'indice moyen plus frais (*Figure 5*). La période de vives-eaux associée à la pleine Lune, en début de mois, marquée par des vitesses de vent plus importantes, affiche l'indice *THW* moyen le moins élevé du mois : 14,63°C (*Figures 4 et* 5).

Cette observation se retrouve sur d'autres stations du littoral levantin pour les cinq derniers étés, et témoigne d'une diminution de l'effet des brises sur le confort thermique en période de mortes-eaux, marquées par un marnage moins important et des coefficients de marée inférieurs à 70.

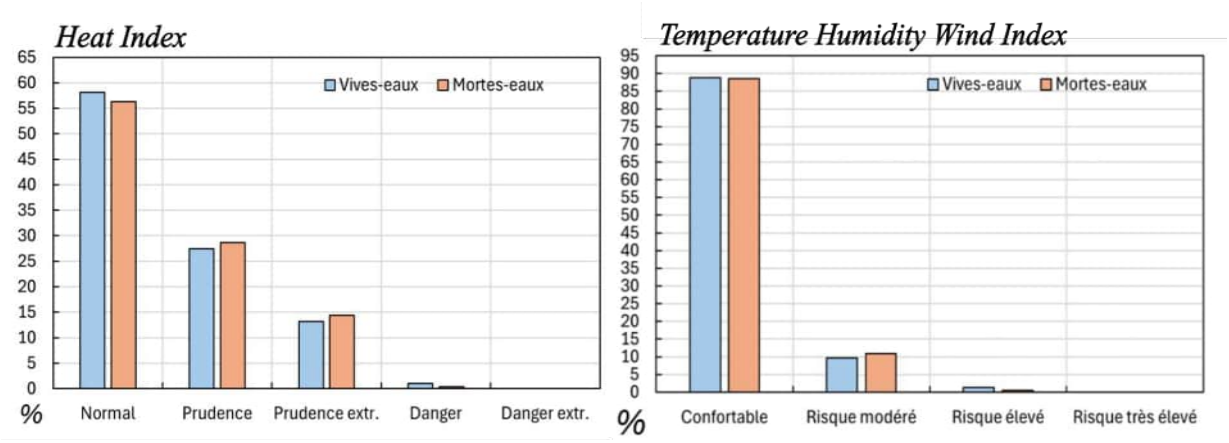


Figure 6. Fréquence des classes de dangerosité du *Heat Index* et *Temperature Humidity Wind Index* à Agost (juin à septembre 2023, IVIA).

De premières études des fréquences des classes de dangerosité des indices de confort selon les périodes de marées montrent des résultats contrastés. On observe une augmentation légère des classes de danger intermédiaires durant les périodes de mortes-eaux, mais l'écart est de 2 à 3% seulement, et on observe une répartition relativement similaire entre les deux périodes (*Figure 6*).

Le vent synoptique n'a pas été pris en compte dans cette comparaison, et nous sommes conscients qu'en sélectionnant uniquement les jours sans impact des vents synoptiques chauds, les écarts entre périodes devraient augmenter. La bathymétrie, qui atteint des valeurs basses à proximité de la côte, rend l'effet des marées plus modéré par rapport à d'autres littoraux méditerranéens, à la bathymétrie moins marquée.

Conclusion

Ce premier travail ouvre la recherche sur l'étude de l'influence des marées sur les brises et le confort thermique dans le bassin Méditerranéen, et sera complété par des analyses approfondies de paramètres essentiels, tels que les situations de marées hautes et basses, la bathymétrie ou le rôle des vasières intertidales, à partir d'une période plus longue et d'un réseau de stations plus dense. Il permettra de reconsidérer, à termes, la place de la ventilation naturelle dans les méthodes d'adaptation aux fortes chaleurs dans une région durement touchée par le réchauffement climatique.

Remerciements : Ce travail a été réalisé avec le soutien financier du département de Géographie et de l'UFR Géographie, Histoire, Économie et Sociétés de l'Université Paris Cité.

Bibliographie

Alberola, C., Rousseau, S., Millot, C., Astraldi, M., Font, J., Garcialafuente, J., Gasparini, G., Send, U., & Vangriesheim, A. (1995). Tidal currents in the western mediterranean-sea. *Oceanologica Acta*, *18*(2), 273-284.

Azorin-Molina, C., Chen, D., Tijm, S., & Baldi, M. (2011). A multi-year study of sea breezes in a Mediterranean coastal site: Alicante (Spain). *International Journal of Climatology*, *31*(3), 468-486.

Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., & Calbó, J. (2009). A climatological study of sea breeze clouds in the Southeast of the Iberian Peninsula (Alicante, Spain). *Atmósfera*, *22*.

Dahech, S. (2007). *Le vent à Sfax (Tunisie) : Impact sur le climat et la pollution atmosphérique* [These de doctorat, Paris 7].

Fischereit, J., Schlünzen, H., Gierisch, A., Grawe, D., & Petrik, R. (2016). Modelling tidal influence on sea breezes with models of different complexity. *Meteorologische Zeitschrift*, *25*.

Lee, Y.-H. (2023). Influence of tidal state on air temperature through penetrating sea breeze front in Seoul in summer. *Meteorology and Atmospheric Physics*, *135*(3), 31.

Miró Pérez, J. J., Olcina, J., Estrela, M. J., & Caselles, V. (2016). *Confort climático, cambio climático y actividad turística en Alicante*. Universidad de Alicante. Instituto Interuniversitario de Geografía.

Steadman, R. G. (1979). The Assessment of Sultriness. Part I : A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *18*(7), 861-873.

Tejedor, E., Benito, G., Serrano-Notivoli, R., González-Rouco, F., Esper, J., & Büntgen, U. (2024). Recent heatwaves as a prelude to climate extremes in the western Mediterranean region. *Npj Climate and Atmospheric Science*, *7*(1), 1-7.

ETAT ACTUEL DES ZONES RAPHIERES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET AUX ACTIVITES ANTHROPIQUES CAS DE L'AIRE PROTEGEE COMPLEXE ZONES HUMIDES MAHAVAVY-KINKONY

Sylvana TOMBOANONA[1], Santatra Francine RASOARILALAO [2], Christian Chéri TOTONDRABESA[3], VAVINDRAZA[4], Hery Lisy Tiana RANARIJAONA[5] et Jorlin Tsaralaza TSIAVAHANANAHARY[6].

1. Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels, Université de Mahajanga, Madagascar, tomboanona@gmail.com,

2,3,4,5,6. Ecole Doctorale Ecosystèmes Naturels, Faculté des Sciences, de Technologies et de l'Environnement (FSTE) Université de Mahajanga, Madagascar, santatrarfs@gmail.com, totondrabesa7@gmail.com, viviane.vavy@yahoo.fr, hranarijaona@gmail.com et ttjorlin@gmail.com

Résumé : *La présente étude a été réalisée dans les zones raphières du Complexe Mahavavy-Kinkony et porte sur l'évaluation des réssources en Raphia farinifera. L'objectif est de déterminer les impacts des activités humaines et le dérèglement climatiques à sa durabilité. L'enquête auprès des villageois sur les pressions anthropiques et les impacts du changements climatiques, ainsi les données climatiques sur le site de World Bank CCKP ont été collectés. La potentialité de la zone raphière dans le site cible est élevée, mais les zones raphières ont subit à des pressions anthropiques dont la transformation des zones raphières en rizière, les feux des savanes, la surexploitation illicite. Le changement climatique se manifeste sur l'assèchement des zones raphières, l'echec de la restauration active, les deséquilibres de la precipitation et Température. Une bonne stratégie et plan d'action s'avère important pour gerer durablement ces réssources.*

Mots clés : *Complexe Mahavavy-Kinkony. Changement climatique, Raphia farinifera, activités anthropiques,*

Abstract: Current state of raphier zones in the face of climate change and anthropolicy activities case of the mahavavy-kinkony wetlands complex protected area. *The present study was carried out in the Raphia areas of the Mahavavy-Kinkony Complex, and focuses on the assessment of Raphia farinifera resources. The aim is to determine the impact of human activities and climate change on its sustainability. A survey of villagers on anthropic pressures and the impacts of climate change, as well as climate data from the World Bank CCKP site, were collected. The potential of the rafia zone in the target site is high, but the rafia zones have been subjected to anthropogenic pressures, including the transformation of rafia zones into rice fields, savannah fires and illegal over-exploitation. Climate change is manifesting itself in the drying-up of rainfed areas, the failure of active restoration, and imbalances in precipitation and temperature. A good strategy and action plan is important to sustainably manage these resources.*

Key words : Raphia farinifera, human activities, climate change, Mahavavy-Kinkony complex.

Introduction

Madagascar constitue une priorité mondiale en matière de conservation de la biodiversité (Goodman & Benstead, 2005). La singularité de sa Flore se traduit souvent par un taux d'endémisme élevé (Callmander et *al*., 2011). Tel est le cas de la famille des Palmiers ou Arecaceae qui constitue un élément important et emblématique de la flore vasculaire de Madagascar. Selon Broschat et al. *(*2017), les palmiers sont considérés comme un « symbole des tropiques » au niveau mondiale. Malheureusement, ils sont confrontés à une crise majeure car leur taux d'extinction est particulièrement élevé par rapport à la tendance globale des plantes vasculaires malgaches dont le taux des espèces menacées est estimé à 27 % (UICN, 2020). Le raphia est un arbre du palmier de Madagascar appelée « Rafia et se repartie dans la partie Est et la côte-Ouest de Madagascar (Rasolojaona, 2006).

Dans la région Boeny, l'Aire Protégée Complexe Mahavavy-Kinkony dénommée CMK, est parmi la zone qui abrite la principale étendue de *Raphia farinifera* restante à la region. Les zones raphières tiennent une place importante aux enjeux environnementaux et socio-économiques pour la population locale qu'abrite l'AP CMK. De plus, ce raphia est une source de revenue importante pour la population par ses fibres, ses rachis et ses petioles. L'objectif de ce travail est de contribuer à l'évaluation des ressources en raphias du CMK en considérant sa structure écologique et le dynamisme spatiale des zones raphières tout en mentionnant les

impacts rélatifs aux faits naturels que humains afin d'apporter des mesures de perenisation dans sa conservation.

1. Données et méthodes

1.1. Choix de la zone et les sites d'observation

Le Complexe Mahavavy Kinkony (CMK) se trouve au Nord-Ouest de Madagascar, incluant la province de Mahajanga de la Région Boeny et du district de Mitsinjo. Il est délimité au Nord par le Baie de Marambitsy, au Sud le lac Kinkony, à l'Est le Baie de Boeny et le fleuve de Mahavavy, et celui de Canal de Mozambique à l'Ouest. Il se situe entre les coordonnées géographiques 15°57' et 16°15' de latitude Sud, 45°27' et 46°10' de longitude Est (Figure 1).

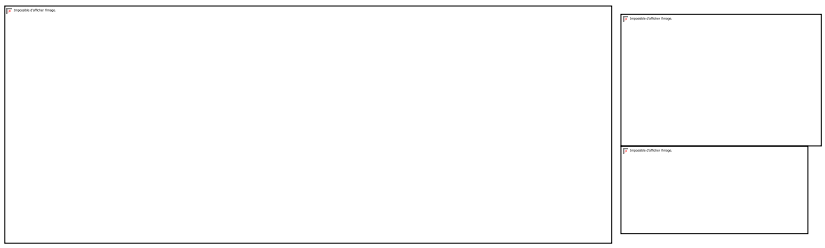


Figure 4 : Localisation de l'Aire protégée Complexe Mahavavy Kinkony (Rasoarilalao, 2024)

Les zones raphières occupent une grande surface dans le Complexe de Mahavavy Kinkony.Pourtant, elles sont menacées par l'exploitation irrationnelle, face à la cueillette des produits denomée « baobao » et des jeunes feuilles. C'est pourquoi cette zone est important pour comprendre l'état de production de raphia. Le Complexe appartient à la zone de l'étage sec selon la classification du Cornet (1974). Il présente une alternance de saison sèche marquée de sept mois, s'étalant du mois de mai à novembre, avec une saison pluvieuse plus courte de cinq mois, de décembre au mois d'avril. La température moyenne annuelle est de 26,5°C avec un minimum de 18°C en juillet et un maximum de 36°C en décembre.

1.2. Enquêtes et constatation sur terrain

La méthode questionnaire a été fait auprès de 87 personnes dont 40 femmes et 47 hommes qui sont âgés plus de 18 ans et pour tous ceux qui utilisent *Raphia farinifera* dans des divers facteurs. Cette enquête a été réalisé dans les 5 sites qui sont : Site1 (S1) : Benetsy, Site2 (S2) : Ankaramanasa, Site3 (S3) : Mamahana, Site 4 (S4) : Tsaramandroso, Site5 (S5) : Andimaka avec une constatation directe des activités anthropiques menaçant la population de Palmier.

1.3. Collecte et traitement des données climatiques

Les données historiques de températures et de précipitations proviennent du portail du Groupe de la Banque Mondiale (« Climate Change Knowledge Portal – CCKP for Development Practitioners and Policy Makers » ou « portail de connaissances sur le changement climatique pour les acteurs de développement et les décideurs). https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data et couvrent les périodes entre 1993-20100. Ils ont servi essentiellement à analyser la variabilité des paramètres climatiques (Température T° et Précipitation P°) au cours des 20 dernières années (1993-2024) qui ont été aussi prises comme référence de la situation la plus récente au sein du District de Mitsinjo. Pour l'analyse des projections consistait ainsi à utiliser les valeurs des anomalies de T° et de P° disponibles sur le portail de WBG. Ces anomalies sont prévues pour la période de 2020 à 2099. Le Scenario RCP4.5 a été pris du fait qu'il est basé sur une émission constante assez raisonnable de CO2. Les médianes des valeurs des anomalies ont été prises pour avoir un max.

2. Résultats et Interprétation

2.1. Apérçu d'impacts du Changement climatiques dans les zones raphières

✓ *Faits Historiques et actuels du température et pluviométrie dans le CMK*

Cette section parle des fluctuations climatiques pour la période passée (1993-2024) dans l'AP CMK. Pour la température, la fluctuation annuelle avec une tendance d'augmentation est constatée presque tous les ans (Fig. 2). Selon la courbe de variation annuelle (Fig. 2), une augmentation de +0,4°C a été constatée pendant 20 ans (min 29,88°C en 1996 et max 30,02°C 2023) d'où l'année 2023 marque l'année la plus chaude justifiant l'information de GIEC 2024. En se référant aux valeurs mensuelles, les mois secs ne présentent pas une importante variation de température sauf pour les mois de Mai (min 25,39°C et max 26,80°C) et Juin (min 23,30°C et max 25°C). Par contre, la tendance a montré une régression de la précipitation mensuelle avec des variations assez visibles à l'exception du mois de novembre et du mois de mars. La figure 3 montre la variation des nombres de jours les plus arrosées par la forte précipitation, avec une fluctuation palpable qui varie de 18 jours en 1998, 11jours en 2003 et 16 jours en 2013-14.

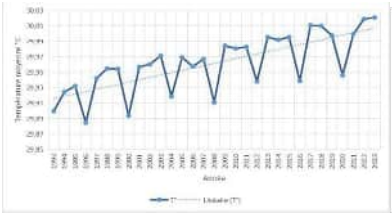


Figure 02. Evolution de la température (°C) moyenne entre 1993 et 2024 dans le District de Mitsinjo (WBG, CCKP, 2025)

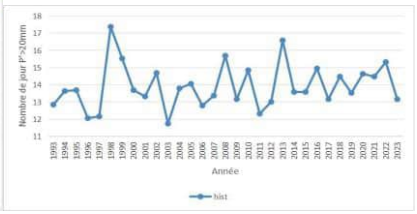


Figure 03. Variation de nombre de jours avec fortes précipitations (P° sup. 20 mm) entre 1993 et 2024 dans le District de Mitsinjo (WBG, CCKP, 2025)

✓ *Projection climatique dans les années à venir*

Pour la projection future à 80 ans, la température mensuelle augmentera avec des anomalies considérables de + 2,00°C à 2,27°C. La simulation climatique sur la précipitation de 2021 à 2100 prévoit une variation de - 10 mm à + 15 mm. Pour les précipitations, une baisse est prévue presque tous les mois allant de -0,69 (juin) à -23,91 mm (octobre), à l'exception de janvier au mois d'Avril. En additionnant ces anomalies aux précipitations actuelles, des valeurs négatives seront enregistrées pour les mois de septembre au novembre impliquant probablement des sècheresses prolongées. Au cours de ces prochaines années, les mois d'octobre et décembre verront une baisse de précipitation, respectivement de l'ordre de – 10,065 mm et – 5,63 mm. Tandis qu'une augmentation de + 15,80 mm s'annoncent vers la fin de la saison de pluie en avril (Figure 4). Pour la température, les résultats de simulation à partir de la 50 prochaine année seront très élevée et montrent une tendance à la hausse de l'ordre de 3,27° (Mars) au 3, 90°C (Octobre) tandis que la précipitation diminue jusqu'à -12,8mm dans le district de Mitsinjo (Figure 5).

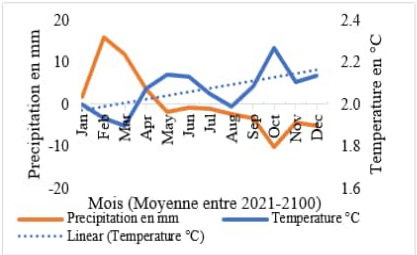


Figure 4. Projection de la variation de température et précipitation de Mitsinjo (2021 – 2100) (World Bank Group – Climate Change Knowledge Portal, 2025**)**

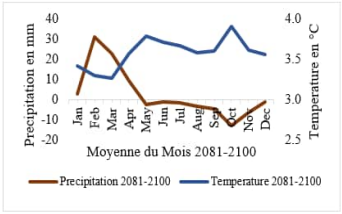


Figure 5. Projection de la variation de température et précipitation de Mitsinjo (2080 – 2100) (World Bank Group – Climate Change Knowledge Portal, 2025)

2.2. Vulnérabilité de Raphia farinifera au changement climatique

Concernant les zones raphières dans chaque site, une baisse de la précipitation accompagnée d'une augmentation de température de l'air entraîne une longue période de sècheresse pour empêcher le développement des jeunes plantes de raphia, cas de la forêt à Raphia de Tsiombikibo (Ankaramanasa et Benetsy). Cette élévation de la température est renforcée par une longue période sèche et favorise le retirement de niveau de l'eau (cas du grand lac Kinkony), entraînant l'assèchement d'une grande partie de bord du lacs et laisse les zones raphières isolées de l'assèchement. Cas des zones raphières de Tsaramandroso et Mamahàna. De ce fait, ils sont très vulnérables face à cette situation qui leur est difficilement tolérable.En se basant sur la projection climatique, la hausse progressive du Température, aggravée par la baisse de précipitation dans le 80 ans avenir va compromettre la survie de l'espèce *Raphia farinifera* bien que le sol aille s'asséché, et qu'une forte probabilité d'accentuation de feu de raphia sera envisagé sans mésure d'atténuation et restauration palpable des zones raphières

2.3. Perception des villageois aux impacts du changement climatique sur la réussite de la restauration de Raphia

La majorité soit 95% des personnes enquêtés ont confirmé que les sites d'Andimaka fait partie des grandes zones de restauration de Raphia depuis 2013 avec un fort taux de réussite (80%) soit 18 ha des Raphias ont été survécu avant 2017. Pourtant, à partir de 2017, une longue sècheresse a été constaté avec diminution des nombres des jours de pluies, et une grande partie des rizières ont été abandonnées à cause du manque d'eau, même situation au séchage des jeunes plantes de raphias issu de la restauration active qui est actuellement transformer naturellement en savane, justifiant la destruction des raphias dans la zone de restauration. Cette situation est actuellement irréversible pour devenir encore comme habitats de l'espèce *Raphia farinifera*.

2.4. Etats des destructions de la zone raphière face aux activités humaines

- ✓ *Faits anthropiques dans les zones raphières (pressions et menaces)*

La constatation sur terrain combinée par les informations issue de l'enquête nous ont permis de relevés les activités humaines qui nuire l'écosystème forestier du CMK et surtout les zones raphières. Plusieurs facteurs favorisant la destruction des zones raphières, à savoir le non-respect de la fermeture de la campagne. Ainsi, l'arrivage des migrants menacée par la forte sècheresse dans la partie sud de l'île et qui ne respectent pas des lois et des coutumes à propos de la conservation de raphia, alors qu'ils exploitent aussi les ressources en question. En somme, les trois causes majeures constatés et qui détruisent les zones raphières sont expliqués comme suit :

- ✓ *La transformation des zones raphières en rizière :*

Les 78% des personnes enquêtées ont confirmé que la culture du riz est l'une des activités principales de la population du complexe Mahavavy-Kinkony. A cet effet, la rizière a besoin d'un bas fond ou encore des milieux qui est toujours en présence de l'eau permanent pour être favorable à la culture. Dans ce cas, elle nécessite la même condition physique que le raphia. Ce qui conduit à la population d'exploiter intensivement et illicitement les zones raphières en transformant en zone agricole.

- ✓ *Exploitation abusive des raphières (surexploitation)*

La plante à raphia a connu un multiple usage, issue de ses valeurs socio-économiques et écologiques de la plante. Cependant, l'enlèvement des matières végétatives peuvent favoriser la stérilité de cette plante. L'extraction de la fibre exige des jeunes feuilles de raphia pour extraire. Des réglementations sur l'approche d'éxploitation a été déjà mis en place pour assurer

la durabilité de cette filière, alors que nombreux sont les exploitants illicites qui ne respectent pas les disciplines. Notons aussi le prélèvement des « baobao » vertes ou des grands pétioles hors de la période de la campagne, pour construire des cases d'habitations ou d'autre usage favorisant la destruction des raphias. Ainsi, l'enlèvement de cet organe peut obtenir des impacts négatifs sur l'évolution du raphière. Cependant, l'exploitation irrationnelle est liée à la densité de la population de raphia.

✓ *Le feu de forêt et des savanes*

Le feu de forêt est l'une des causes majeures qui provoque la dégradation rapide des raphières. Cela provient de la pratique agricole pour la population autochtone. La population native et les migrants du Complexe Mahavavy-Kinkony pratique le feu de forêt en transformant les zones raphières en riziculture. D'autre part, le manque de suivi ou encore le non utilisation du pare-feu en détruisant les pâturages qui entourent les forêts des raphias. Le tableau suivant récapitule la diminution des superficies des zones raphières et les types des actions qui causent leurs dégradations.

Tableau 1. Evolution superficielle des zones raphières face aux principales pressions anthropiques

Habitats cibles	Nom du site	Superficie initiale (ha)	Superficie actuelle (ha)	Transformé en riziculture	Superficie Brulé par le feu
Rafia Farinifera	Andimaka	15	7	3	2
	Ankaramanasa	63	59	0	4
	Benetsy	93	80	3	10
	Tsaramandroso	185	146	36	3
	Mamahana	74	56	7	9
Total		**430**	**348**	**49**	**28**

Source : Rasoarilalao, 2024

Le tableau nous montre qu'une grande partie des surfaces considérées dans cette étude ont été disparus allant de 430 à 348 ha, soit une superficie de 82 ha est perdue modifiée et transformée. La transformation en rizière accompagnée par des coupes illicite tient la première place des causes de dégradation (Exemple le Cas de Tsaramandroso avec 36 ha transformer en rizière), le feu constitue 28ha de destruction des zones raphières et 5 ha de reste est issu des autres changements liés à la sècheresse, manque de l'eau de pluie. Ainsi, cette dernière carte montre la superposition des données marquants les points de feux et les zones raphières dans le Complexe Mahavavy-Kinkony.



Figure 5. Superposition de feu périphérique de Tsiombikibo avec la zone raphia

La carte justifie qu'une partie de la forêt à Raphia sont touché par les feux pour l'année 2023 (année la plus chaude), et que les zones raphières se trouvent souvent exposée aux feux de pâturage, cas de savane qu'entoure la forêt de Tsiombikibo.

Discussion

Les résultats ont montré que les trois principales pressions qui subissent à l'espèce *Raphia farinifera* sont composés par le feu des forêts, la transformation des zones raphières en rizière

et la surexploitation. La population locale préfère la zone raphière en transformant en zone agricole grâce à sa source d'eau. Selon Mouranche (1995), la surexploitation de raphia par la coupe des rachis est une source de dégradation de raphia qui conduit à la mort des plantes. La restauration à Madagascar est confronté à des problèmes d'investissements. Il ne compense pas encore la dégradation puisqu'en général il ne permet de recouvrir que près de 0.40 % de la surface totale annuelle détruite ou endommagée par les feux, les exploitations ou les défrichements (Global Forest Watch, 2024).

Quant aux vulnérabilités climatiques, selon Tsiavahananahary et al, 2023, Madagascar fait partie des territoires considérés comme les plus vulnérables face aux changements climatiques. Ce changement climatique causera la disparition des forêt *Raphia farinifera*. Si la résilience n'arrive pas à temps et si aucune décision n'est prise, les zones raphières vont se transformer, s'assécher, devenant moins favorables pour assurer leurs rôles écologiques et sources d'eau non seulement pour la population mais aussi pour les rizicultures et toutes activités agricoles. Et qui nécessite un plan d'actions à mettre en œuvres pour assurer la durabilité des réssources en Raphia dans nons seulement l'AP CMK mais surtout dans les zones raphières à Madagascar.

Conclusion

Raphia fariniféra fait partie des espèces de palmiers à forte utilisation par les humains, les activités humaines devraient être positives à sa conservations et durable à sa valorisation. La maitrise des activités liées à l'adaptation au Changement Climatique serait indispensable pour créer des activités génératrices des revenus pour la population locale et subvenir leurs exigences en bois pour leurs constructions, afin de dissuader leurs comportements dépendants des ressources naturelles. Enfin pour assurer la protection durable des zones raphières, nous recommandons au gestionnaire de renforcer les activités résilientes au changement climatique, restaurées les habitats naturels à fin d'assurer le maintien de cette espèce dans le temps et dans l'espace. Sans approche fiable à sa conservation, sans activités résiliente au changement climatique et sans activités d'adaptation, le bouleversement de la filière Raphia, la disparition des ressources raphières sera envisageable. Donc, il faut agir dès maintenant sans demander la responsabilité des autres.

Bibliographique

Broschat, T.K., Meerow, A.W., Elliott, M.L., 2017. *Ornamental Palm Horticulture, Second edition*. University Press of Florida. 344p.

Callmander, M., Phillipson, P.B., Schatz, G.E., Andriambololonera, S., Rabarimanarivo, M., Rakotonirina, N., Raharimampionona, J., Chatelain, C., Gautier, L., Lowry II, P.P., 2011. The endemic and non-endemic vascular flora of Madagascar updated. *Plant Ecology and Evolution* **144**, 121–125.

CORNET A., 1974. Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar. *Notice explicative* **n°55**. Orstom.

Mouranche, R.,1955. Le palmier Raphia de Madagascar, *Bois et Forêt des tropiques*, **n°41** : 22p.

Rasolojaona L. S., 2006. Étude de la filière Raphia en vue du développement de son exportation: cas de RAMANANDRAIBE Exportation S.A. Diplôme d'Etudes Approfondies, Université d'Antananarivo. Faculté de droit, d'économie, de gestion et de sociologie, p 20-22.

Tsiavahananahary T.J., Randriamifidison R.A., Randrianjatovo S. et Randrianjafy V.N.R. ,2023**.** *Effet du changement climatique et des pressions humaines sur les oiseaux endemiques malgaches, tachybaptus pelzelnii dans le complexe zones humides mahavavy-kinkony, district de mitsinjo, Madagascar***,** Acte du 36ème Colloque International de l'AIC-2023 « Climat, eau et société : changements et défis » à Bucharest Roumanie, ISBN 978-606-605-229-0/ http://aic2023.geo.unibuc.ro

World Bank Group – Climate Change Knowledge Portal, 2022 : *Historical climate and Future climate*. http://sdwebx.worldbank.org/climateportal.

TABLE DES MATIERES

CLIMAT ET AGRICULTURE

NOM DES AUTEURS	TITRE DES COMMUNICATIONS	Pages
Amadou ABDOU BAGNA	CARACTERISATION DES RISQUES AGROCLIMATIQUES SUR LES PETITES EXPLOITATIONS AGRICOLES DU BASSIN VERSANT GABI (SUD-MARADI AU NIGER)	11
Worou Hervé AFOUDA, Guy WOKOU, Y Ibouraïma ABI, Thiou Tanzidani Komlan TCHAMIE	RESILIENCE DES JEUNES SANS EMPLOI CONVERTI DANS L'AGRICULTURE FAMILIALE FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE DEPARTEMENT DU PLATEAU (SUD-BENIN)	17
Angelo Evariste AHOUANDJINOU	IMPACTS DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LA PRODUCTIVITE MARAICHERE EN MILIEU URBAIN AU BENIN : CAS LA COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI AU BENIN	23
Akibou AKINDELE Waïdi SEYDOU, Jésulola Candas HOUNWANOU, Brice Sèvègni TCHAOU	PERCEPTIONS ET STRATEGIES D'ADAPTATION DES COMMUNAUTES WXLA DE LA COMMUNE DE SEME-PODJI AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES (AU SUD-BENIN)	29
Fenomanantsoa Rajotiana ANDRIANANTENAINA, Dominique DUMAS, Sylvain BIGOT, Tolojanahary ANDRIAMITANTSOA	ÉVOLUTION DES PRATIQUES RIZICOLES DANS LA CUVETTE D'ANDAPA (NORD DE MADAGASCAR) FACE À LA BAISSE DES PRÉCIPITATIONS	35
Djibrirou Daouda BA et Amadou Tidiane THIAM	CHANGEMENT CLIMATIQUE ET PRODUCTIVITE AGRICOLE DANS LE DEPARTEMENT DE FATICK, BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL	42
Yaovi Aymar BOSSA, Johannot TONON, Ernest AMOUSSOU, Jean HOUNKPE, Luc O. SINTONDJI	IMPACT DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE SUR LES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES EN ZONE SEMI-HUMIDE AU BENIN	48
Ayédêguê Biaou Philippe CHABI, Abraham AMOUSSOUGA GERO, N. Emile HOUNGBO, Cyr Gervais ETENE, Ibouraïma YABI, Expédit Wilfried VISSIN et Euloge OGOUWALE et Pascal SAGNA	ASSURANCE CLIMATIQUE ET PRODUCTION AGRICOLE AU BENIN : PERSPECTIVES ET DEFIS	54
Moussa COULIBALY, Nafolo Drissa YEO, Henri Joël KOUADIO,	VARIABILITE PLUVIOMÉTRIQUE ET PALUDISME DANS LA SOUS-PRÉFECTURE DE LATAHA AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE	60
Julien CRETAT, Asmat ULLAH, Olivier MATHIEU, Mathieu THEVENOT	IMPACT DU CLIMAT SUR LA VARIABILITE TEMPORELLE DU BILAN NET DE L'ECOSYSTEME DES FORETS EUROPEENNES : OBSERVATIONS ET MODELISATION	66
Adolphe DIATTA, Didier Maria NDIONE, Soussou SAMBOU, Daouda BADIANE, Moustapha DIENE, Baba SARR	ETUDE COMPARATIVE DE L'EFFICACITE DES OUVRAGES ANTI-SEL SENEGALAIS DANS LA RESILIENCE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	72
Hamidou DIAWARA, Mohamed KOUMARE, Oulématou TRAORE, Bouramadiè COULIBALY	DYNAMIQUE SPATIOTEMPORELLE DES PARAMÈTRES AGROCLIMATIQUES DANS LES ZONES PRÉ-GUINÉENNE ET SOUDANIENNE DU MALI	78
Sèna Sandra DOBOLI, Pierre GAMBAROU DOGO et Tchékpo Théodore ADJAKPA	VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES DANS LA COMMUNE DE DJIDJA AU CENTRE DU BENIN	84
Mohamed FEKI, Jalel BEN ROUINA	VARIABILITE CLIMATIQUE ET PRODUCTION OLEICOLE DANS LA REGION DE SFAX : CAS DE LA DELEGATION D'AGAREB (TUNISIE CENTRALE)	90
Koufanou HIEN, Florence DELONGUEVILLE Salack SEYNI, Pierre OZER	TRAJECTOIRES DES IMPACTS CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTIVITÉ DU MAÏS ET DU RIZ PLUVIAL AU BURKINA FASO À L'HORIZON 2050 : ESTIMATION BASEE SUR LES DONNES DES MODÈLES CMIP6.	96
Sénadé Sylvie HOUNZINME; Monsoundé Etienne DOSSOU ; Madjidou OUMOROU	RESILIENCE DES PRODUCTEURS AGRICOLES FACE AUX RISQUES D'INONDATION DANS LA COMMUNE DE OUINHI AU SUD-EST DU BENIN	102
Patindsaongo Zephirin KAGAMBEGA	VULNERABILITE CLIMATIQUE DES SYSTEMES AGRICOLES DANS LE BASSIN DU KOU (BURKINA FASO) : UNE CARTOGRAPHIE POUR L'ADAPTATION	108
Angeline KEMSOL NAGORNGAR, Djim-Assal DATOLOUM, Nadine HINYABE BOURNEBE .	PRATIQUES CULTURALES ET QUALITE DES EAUX DE FORAGE DANS LE DEPARTEMENT D'HARAZ-AL-BIAR AU TCHAD	114
Hadiza KIARI FOUGOU, Boukar Kellou KAKA KIARI, Hadiza ADO SALIFOU, Aboukar CHETIMA	ANALYSE DES STRATEGIES D'ADAPTATION FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE DE DIFFA, NIGER	120
Simplice Yao KOFFI,	LES PRODUCTEURS DE COTON FACE AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA SOUS-PRÉFECTURE DE NIÉLLÉ AU NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE	126
Dègla Hervé KOUMASSI, Jean SODJI	VULNERABILITES DES PETITES EXPLOITATIONS AUX RISQUES AGRICOLES DANS LA COMMUNE DE OUIDAH AU BENIN	132

Oulai Jean-Gautier KPAN, Métangbo DIOMANDÉ, Assa FabriceYAPI, Yéi Marie-Solange OGA et Jean BIEMI	STRATEGIES D'ADAPTATION DES POPULATIONS DU SUD-EST COTIER IVOIRIEN FACE AUX IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE	138
Martin MASSOUANGUI-KIFOUALA	RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE ET AMBIANCE BIOTHERMIQUE EN MILIEU RURAL DANS LE DÉPARTEMENT DE LA LÉKOUMOU (RÉPUBLIQUE DU CONGO)	144
Imorou OUOROU BARRE FOUSSENI Osée Sènami Jésugnon AMOUSSOU	IRREGULARITE DES PLUIES SUR LA PRODUCTION DE CACAO (*THEOBROMA* CACAO *LINN*.) DANS LA COMMUNE DE SAKETE AU SUD-EST DU BENIN	150
Gaëlla PERRON, Valérie BONNARDOT	ÉVOLUTION DE L'INDICE HELIOTHERMIQUE DE BRANAS DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'EMERGENCE DE LA VITICULTURE EN BRETAGNE	156
Andry Richette RABENARSON, Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY et Rakotoniaina Norosoa Christine RAFAZINDRAMANANA	ETAT DE SURVIE DES FORETS D'ANACARDIER FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ACTIVITES HUMAINES DANS LA REGION BOENY, OUEST DE MADAGASCAR	162
Rindra RANDRIAMIFIDISON, Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY, Tantely Maminiaina ANDRIANAIVO, Lily Arison DE ROLLAND	AGRICULTURE CLIMATO-INTELLIGENTE (ACI) ET RESILIENCE DES SYSTEMES DE PRODUCTION FACE AUX CHANGEMENT CLIMATIQUE EN REGION HAUTE MATSIATRA, MADAGASCAR	168
Gaston SAMBA	PERCEPTION PAYSANNE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE DISTRICT DE MADINGOU (CONGO-BRAZZAVILLE)	174
Dègbélo Pamphile SOGNON, Éric Laurent Sèvimi Coffi SEBO VIFAN, Marcel ADIGBEGNON, Sourou Henri TOTIN VODOUNON	CONTRAINTES CLIMATIQUES ET PRODUCTION DES NOIX D'ANACARDIER DANS LE DEPARTEMENT DES COLLINES AU CENTRE DU BENIN	180
Adamou TAIROU ; Imorou OUOROU BARRE FOUSSENI	CLASSIFICATION TRADITIONNELLE ET IMPORTANCE DU VENT CHEZ LES BAATƆMBU (NORD BENIN)	186
Cyrille TCHAKPA, Waïdi SEYDOU, Coffi Adrien DOSSOU-YOVO	VULNERABILITE DES CHAMPS DE CASE A LA VARIABILITE CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE D'AGBANGNIZOUN AU BENIN	192
Richard TODE, Ernest AMOUSSOU et Henri Sourou TOTIN VODOUNON	VULNERABILITE DES CULTURES DE CONTRE-SAISON DANS LA ZONE DE TRANSITION CLIMATIQUE DU BENIN	198
Adama TOURE, Zounabou SOWADOGO épouse KOUYATE, Djénéba MANE	ANALYSE DE LA PERFORMANCE DES AMENAGEMENTS HYDROAGRICOLES DU DEPARTEMENT DE KORHOGO DANS LE NORD DE LA COTE D'IVOIRE : CAS DES BARRAGES DE LATAHA ET NOUPLE	204
Zamblé Armand TRA BI	CARTOGRAPHIE DES MUTATIONS DES USAGES DU SOL EN SAISON HUMIDE A PARTIR D'IMAGES SATELLITES MULTI SOURCES DU DEPARTEMENT DE SAKASSOU	210
Guy Cossi WOKOU et Waïdi SEYDOU	VULNERABILITE DU SYSTEME DE PRODUCTION DE LA LENTILLE DE TERRE ET DU MAÏS A LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE DANS LES ARRONDISSEMENTS D'ALLAHE ET DE HOUNGOME (COMMUNE DE ZA-KPOTA AU BENIN)	216
Madiop YADE	VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET PRODUCTION AGRICOLE DANS LE DEPARTEMENT DE NIORO DU RIP (SENEGAL)	222
Assa Fabrice YAPI, Bi Vami Hermann N'GUESSAN, Oulaï Jean Gautier KPAN, Yeï Marie Solange OGA.	PERCEPTION PAYSANNE DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET STRATEGIES D'ADAPTATION : CAS DE LA REGION DE LA MARAHOUE (CENTRE-OUEST DE LA COTE D'IVOIRE).	228
Tchéfigué abiba YEO, Kpaka Sabine DIOBO, Serge Fidèle ASSOUMAN	MORPHOLOGIE DU PAYSAGE, VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET LIMITES DES STRATÉGIES DE RÉSILIENCE LOCALE CONTRE LA DÉGRADATION DES SOLS AGRICOLES : CAS DU VILLAGE GNALÈLÈKAHA (NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE)	234

CLIMAT ET RESSOURCES EN EAU

Olusegun ADEAGA	ASSESSMENT OF WATER AVAILABILITY AND WATER STRESS IN THE LOWER OGUN DRAINAGE BASIN	241
Isaiah S. AKOTEYON and D. Japhet KODJA	SACHET WATER QUALITY AND FACTORS AFFECTING COMMERCIAL WATER OPERATORS IN LAGOS METROPOLIS, NIGERIA	246
Yvon Lionel Nicaise AMOUSSOU, Bignon Benoît Max ASSOGBA, Jean-Eudes AINAMON, Rodrigue SENOU, Guillaume N'KUAKOO, Fréderic LODOUHOUE, Mama	ETUDE COMPARATIVE DE LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU (GIRE) DANS LE BASSIN VERSANT DU MONO A L'EXUTOIRE D'ATHIEME(BENIN) ET DANS LE	252

DJAOUGA, Ismaïla TOKO IMOROU, Expédit Wilfried VISSIN	BASSIN VERSANT DE LA RIVIERE DU GOUFFRE A L'EXUTOIRE DE BAIE-SAINT-PAUL (CANADA)	
Josabeth Astrid ANGO ; Sidonie Clarisse HEDIBLE ; ErnestAMOUSSOU ; Expédit W. VISSIN ; Michel BOKO	DYNAMIQUES SAISONNIERES DE L'ACCES A L'EAU ET CONTRAINTES ASSOCIEES DANS L'ARRONDISSEMENT DE TCHAOUROU	257
Assehame Sabine ANOUKOUM, Essoyomèwè AKODABI, Atina Pyalo BADAMELI, Tatongueba SOUSSOU, Tchaa BOUKPESSI, Ibrouraïma YABI	EVALUATION DE L'EFFET DE LA VARIABILITE PLUVIO-THERMIQUE ET HYDROLOGIQUE SUR LA DISPONIBILITE DES RESSOURCES EN EAU DE SURFACE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA KARA AU NORD TOGO	263
Rock AVALIGBE, Kouété Hervé KOUDJEGA., Expédit Wilfrid VISSIN	MOBILISATION DES RESSOURCES EN EAU SOUTERRAINE POUR L'IRRIGATION DES CULTURES DANS LE CONTEXTE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA COMMUNE DE ZE AU SUD DU BENIN	268
Zaharandine BA-LADANI, Asai Akinni Gervais ATCHADE, Pierre OUASSA, Expédit Wilfried VISSIN	VULNERABILITE DE LA PRODUCTION D'EAU POTABLE A LA VARIABILITE CLIMATIQUE DANS LA ZONE DE SOCLE CRISTALIN DE NATITINGOU	274
Sylvain BIGOT, Samuel RAZANAKA, Marie-Dominique LEROUX, Stephason KOTOMANGAZAFY, Sandra ROME, Pierre BRASSEUR	ACTUALISATION DE LA CARTOGRAPHIE BIOCLIMATIQUE DE MADAGASCAR GRÂCE AUX DONNÉES BRIO : SITUATION OBSERVÉE ET PROJECTIONS FUTURES	280
Sèmassa Janvier DANSOU, Dègla Hervé KOUMASSI	ACCESSIBILITE ET DURABILITE DES SERVICES PUBLICS D'EAU POTABLE DANS LA COMMUNE D'AKPRO-MISSERETE	286
Akoua Isabelle DOSSOU, Cocou Parfait BLALOGOE, Gbéwanou Maurice KOUNTANGNI , Expédit VISSIN	GESTION MODÈLE DES EAUX DOMESTIQUES DANS L'ARRONDISSEMENT DE ZINVIE COMMUNE D'ABOMEY - CALAVI	292
Mahamadou Salifou KARIMOU BARKÉ, BernardTYCHON, Moussa EL JARROUDI	APPROCHE INTEGREE DPSIR-SIG POUR LA RESILIENCE CLIMATIQUE DU LAC GUIDIMOUNI : UNE ETUDE APPLIQUEE A LA REGION DE ZINDER, NIGER	297
Yéniko Césaire KODJO SONOU, Asai Akinni Gervais ATCHADE, Mathieu Maurice AHOUANSOU, Pierre OUASSA, Expédit Wilfried VISSIN	VALORISATION PARTICIPATIVE DES SOURCES D'EAU THERMALE A DANGBO FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES	303
Karnon KONE, Doutin Serge DJE Bi et Nambégué SORO	INFLUENCE DU CONTEXTE CLIMATIQUE SUR L'ACCÈS À L'EAU POTABLE DANS LE DÉPARTEMENT D'ODIENNÉ (NORD-OUEST DE LA CÔTE D'IVOIRE)	309
Ayeto Lucie KOUDERIN, Renaud Jean-Eudes Tundé MITCHOZOUNOU, Ringo Fernand AVAHOUNLIN, Tchihoundro Gilbert DANHOSSOU, Expédit Wilfrid VISSIN	IDENTIFICATION DES ZONES DE RETENTION EN EAUX DE SURFACE A L'ECHELLE DU BASSIN DE BETEROU (AU NORD DU BENIN)	315
Didier Maria NDIONE, Adolph DIATTA, Moussé Landing SANE, Seidou Kane, Issa Leye, Samo DIATTA, Soussou SAMBOU	ETUDE DES PERFORMANCES D'UN SYSTEME DE GRAND ENSEMBLE DE DEBITS IMPLEMENTE DANS LE BASSIN VERSANT DU BAFING A L'ENTREE DU BARRAGE DE MANANTALI : COMPARAISON A DES SYSTEMES D'ENSEMBLES SUR LA BASE DU GR4J OU DU HBV-LIGHT	321
Médard NGOUALA MABONZO	VARIABILITE SAISONNIERE DE LA PLUVIOMETRIE ET BILAN HYDROLOGIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA LOUDIMA AU SUD-OUEST DE LA RÉPUBLIQUE DU CONGO	327
Koffi Sébastien OUFFOUE; Gouanda Thibaut BEA; Ossey Bernard YAPO ; Lassiné OUATTARA	EVALUATION DE LA NATURE RADIOACTIVE DES SEDIMENTS DES BAIES DE LA LAGUNE EBRIE D'ABIDJAN, COTE D'IVOIRE	333
Rosalie OYENIRAN, Hogouyom Martin ASSABA Expédit W. VISSIN ,	ETAT DES LIEUX DES INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES A L'ERE DE LA DECENTRALISATION DANS LA COMMUNE DE NATITINGOU AU BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)	339
Martial Anjarasoa RAKOTONJANAHARY, Hery Nantenaina RAVANOMANANTSOA	ANALYSE DE LA VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET DE L'EVOLUTION DE LA SECHERESSE DANS LES PLAINES COTIERES SEMI-ARIDES (SUD-OUEST DE MADAGASCAR)	345
Moussé Landing SANE, Didier Maria NDIONE, Issa LEYE, Adolphe DIATTA, Mame Henriette SAMBOU, Ibrahima TOURE, Seïdou KANE et Soussou SAMBOU	OPTIMISATION DE LA PRODUCTION D'ENERGIE DU BARRAGE DE MANANTALI 2003-2023	351
Moussa Mamady TRAORE, Dahirou WANE, Tamba Nicolas MILLIMONO, Ibrahima CAMARA, Ibrahima Kalil KANTÉ, Bakary TRAORE, Mamadou Bailo BARRY, Moussa DIAKHATÉ, Abdou Lahat DIENG, Saidou Moustapha SALL.	INFLUENCE DES PRÉCIPITATIONS SUR L'ÉCOULEMENT FLUVIAL DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE EN GUINÉE : CAS DU BASSIN DE TINGUILINTA	357
René Ayéman ZODEKON, Romaric OGOUWALE et Léocadie ODOULAMI	PROBLÉMATIQUE DE LA DURABILITÉ ENVIRONNEMENTALE DES SERVICES PUBLICS DE L'EAU POTABLE DANS LA COMMUNE DE DASSA-ZOUME : MESURES URGENTES ET PERSPECTIVES POUR UN ACCES UNIVERSEL	363

ÉVÈNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES ET LEURS IMPACTS

Georges ADEYE	**CLIMATIQUE ET BIEN-ETRE DES POPULATIONS AFRICAINES-**	**370**
Yao Séna ADOKANOU, Koudzo SOKEMAWU	**LES DETERMINANTS SOCIODEMOGRAPHIQUES ET SPATIAUX DES RISQUES D'INONDATION DANS LA COMMUNE GOLFE 6 AU SUD-TOGO**	**376**
Arielle DAH-ASSIDAGBENON, Tchékpo Théodore ADJAKPA	**GESTION DES RISQUES D'INONDATION DANS LA COMMUNE DE BONOU AU SUD-EST DU BENIN**	**382**
Asai Akinni Gervais ATCHADE, Pascal GBENOU	**RISQUES HYDRO-CLIMATIQUES DANS LA BASSE VALLEE DE L'OUEME A DANGBO AU BENIN : ENTRE EFFETS ET STRATEGIES D'ADAPTATION DES POPULATIONS**	**388**
Vidjinnagni Vinasse Ametooyona AZAGOUN, Kossi KOMI, Expédit Wilfrid VISSIN and Komi Selom KLASSOU	**EXTREMES PLUVIO-THERMIQUES EN ZONES URBAINES : ÉTUDE DE CAS DE GRAND-NOKOUE, BENIN (AFRIQUE DE L'OUEST)**	**394**
Déhalé Donatien AZIAN, Emmanuel SOVI, Sabine DJIMOUKO, Moussa GIBIGAYE	**IMPACTS DES INONDATIONS SUR LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL DANS LE SOUS BASSIN VERSANT DE LA TEROU**	**400**
Djahouié Prisca BEUGRÉ épouse ATRI ; Kouassi Guillaume KOFFI ; Mian Joseph ATTA	**IMPACTS DES CLIMATS DE HOULES SUR LA PLAGE DE SAN PEDRO**	**406**
Sègla Maurille DANSOU, Eric SEBO VIFAN, Djafarou ABDOULAYE, Kouété Hervé KOUDJEGA., Expédit Wilfrid VISSIN	**STRATEGIES D'ADAPTATION ET SYSTEME D'ALERTE PRECOCE DANS LA COMMUNE DE DANGBO AU SUD DU BENIN**	**411**
Kachichè Kafiriola Florent DOUMATEY, Toundé Roméo Gislain KADJEGBIN et Sènangla Franco-Néo Camus DJESSONOU	**EFFETS DES EVENEMENTS CLIMATIQUES EXTREMES SUR LA GESTION DES DECHETS SOLIDES ET LIQUIDES DANS LA COMMUNE DE SEME-PODJI AU BENIN**	**416**
Bouchaib ESSALEK, Hind FATTAH, El Houcine LAKHOUAJA, AISSAM BOUAICHE	**MOROCCO'S CLIMATE FORECAST FOR 2023**	**422**
Françoise D'Avila GOUADOU, Malan Ketcha Armand KABLAN, Kouassi DONGO	**CONSEQUENCES DES INONDATIONS DE 2021 A 2023 DANS LA COMMUNE DE COCODY (CÔTE D'IVOIRE),**	**428**
Florentine Adjouavi HOUEDENOU	**LES PROJETS SCOLAIRES ECORESPONSABLES : OUTILS D'EDUCATION ENVIRONNEMENTALE PARTICIPATIVE POUR LA PRESERVATION DU CLIMAT AU BENIN**	**434**
Géoffroy IBIASSI MAHOUNGOU ; Benelle kyliane ISSOKO MASSOUNGA ; Léonard SITOU ; Franges Martial DZIENGUE ; Fred William MANIAKA	**EVOLUTION DES EXTREMES CLIMATIQUES ET RISQUES DE CATASTROPHES AU CENTRE-CONGO (REPUBLIQUE DU CONGO) DE 1991 A 2080**	**440**
Raul-Gabriel ILEA, Dana Maria CONSTANTIN (OPREA), Liliana ZAHARIA, Elena GRIGORE, Gabriela IOANA-TOROIMAC, Adrian Amadeus TIȘCOVSCHI	**THE EXTREME HEAVY PRECIPITATION EVENT IN AUGUST 2024 OVER ROMANIAN BLACK SEA COAST: FROM THE SYNOPTIC CONTEXT TO CONSEQUENCES**	**446**
Halidou KAFANDO, Blaise OUEDRAOGO, Vincent N. OJEH, Andreas RIENOW	**FLOOD VULNERABILITY MAPPING USING GEOSPATIAL TECHNIQUE AND ANALYTIC HIERARCHY PROCESS MULTI-CRITERIA ANALYSIS IN THE URBAN COMMUNE OF DÉDOUGOU, BURKINA FASO**	**452**
Sambi KAMBIRE	**ASPECTS D'UNE DYNAMIQUE ET DES MODELES CLIMACIQUES DANS LA BANDE DU GLACIS MERIDIONAL DE L'EST ENTRE BONDOUKOU ET TANDA (NORD-EST DE LA COTE D'IVOIRE)**	**457**
Sambi KAMBIRE, Pénakalatchan Mouctar SEKONGO	**IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA DYNAMIQUE DES CUIRASSES FERRUGINEUSES A KARAKORO (NORD DE LA CÔTE D'IVOIRE)**	**463**
Bienvenue Lawankiléa Chantal Noumpoa KARAMBIRI, Korotimi SANOU, Françoise VALEA, Jean-Marie DIPAMA	**LES INONDATIONS REPETITIVES DANS LE BASSIN VERSANT DE PA EN ZONE NORD-SOUDANIENNE AU BURKINA FASO**	**468**
Klo Lydie KONE, Pébanagnanan David SILUE	**BARRAGE DE OUANGOLODOUGOU ET ACTIVITÉS ANTHROPIQUES À L'AUNE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE**	**474**

Aimé KOUADIO KOUASSI, Jean-Emmanuel PATUREL, Gneneyougo Emile SORO	**REVISION DES COURBES HAUTEUR-DUREE-FREQUENCE POUR FAIRE FACE A L'EVOLUTION DES EVENEMENTS EXTREMES PLUVIOMETRIQUES EN COTE D'IVOIRE**	**479**
Naboua KOUHOUNDJI, Codjo Clément GNIMADI, Abdoulaye FATY, Côlan Charles HOUNTON, Sahadou ALIOU MANMAN, Expédit Wilfried VISSIN	**CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION AU MOYEN DES SIG ET DE LA TÉLÉDÉTECTION DANS L'ARRONDISSEMENT DE GODOMEY (COMMUNE D'ABOMEY – CALAVI)**	**485**
Edjéou Kimaré LEKEZIME, Awa Krou MALAM BOUKAR, Koudzo SOKEMAWU	**MODIFICATIONS DES PARAMETRES CLIMATIQUES ET LEURS IMPACTS SUR LA PRODUCTION AGRICOLE DANS LES MASSIFS KABIYE AU NORD DU TOGO**	**493**
Faya LEMOU	**EVOLUTION RECENTE DES PLUIES EXTREMES ET RISQUES ENVIRONNEMENTAUX A LOME**	**499**
Kannayi Frédéric LODOUHOUE, Gaston Sèssinou LAGOYE, Expédit Willfrid VISSIN	**RISQUES ET IMPACTS SOCIO- ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FACE AU DRAGAGE DE SABLE DANS L'ARRONDISSEMENT D'AKASSATO (COMMUNE D'ABOMEY-CALAVI)**	**505**
Tamba Nicolas MILLIMONO, Moussa Mamady TRAORÉ, Yakouba CAMARA, Diakaria DIALLO, Bakary TRAORÉ	**IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ÉCOULEMENT FLUVIAL DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE EN GUINÉE : CAS DU BASSIN DE NIGER À KOUROUSSA**	**511**
Joris MONSI AGBOKA, Clément KEGBO K., Sidonie Clarisse HEDIBLE, Kouété Hervé KOUDJEGA, Expédit Wilfrid VISSIN	**CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VULNERABILITE DE LA ZONE COTIERE OUIDAH GRAND-POPO SUITE A L'ELEVATION DU NIVEAU MARIN AU SUD DU BENIN**	**517**
Prisca Elisabeth N'SITA BAKEMITA	**IMPACTS DES ÉVÉNEMENTS CLIMATIQUES EXTRÊMES SUR LES CONDITIONS D'APPRENTISSAGE DANS LES COLLÈGES D'ENSEIGNEMENT GÉNÉRAL DANS LE DÉPARTEMENT DE LA BOUENZA (CONGO-BRAZZAVILLE)**	**523**
Romaric OGOUWALE	**RISQUES ET IMPACTS SOCIO - ENVIRONNEMENTAUX DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES FACE AUX INDUSTRIES DE BOIS DANS L'ARRONDISSEMENT DE GODOMEY (COMMUNE D'ABOMEY – CALAVI)**	**529**
Jean SODJI, Pierre OUASSA, Olivier KOUDAMILORO1, Abdel Coudouce Kpèdétin Babatoundé SALIFOU, Expédit Wilfrid VISSIN	**VULNERABILITE DE L'AGRICULTURE FACE AUX EVENEMENTS HYDRO-CLIMATIQUES DANS LA COMMUNE DE DJIDJA AU SUD DU BENIN**	**534**
Serge Olivier SOHOU	**ÉVOLUTION DES EVÈMENTS PLUVIOMÉTRIQUES EXTRÊMES DANS LES RÉGIONS FORESTIÈRES IVOIRIENNES DEPUIS 1981**	**540**
Ghislain TOLI, Joëlle Claude ZOU-MASSENGO et Gaston SAMBA	**VARIABILITÉ PLUVIOMÉTRIQUE ET OCCURRENCES D'INONDATIONS À EPÉNA (CONGO-BRAZZAVILLE)**	**544**
Fakorédé Ephrem TOSSOU, C Claude ODJIA, Sebastian WEISSENBERGER	**COMPLEXITÉ DU PHÉNOMÈNE D'INONDATION DANS LA PLAINE CÔTIÈRE DE LA VILLE DE COTONOU**	**550**
Moussa Mohamed WABERI, Pierre CAMBERLIN, Benjamin POHL, Juliette BLANCHET, Omar Assowe DABAR	**FUTURE CHANGES IN MEAN AND EXTREME PRECIPITATION OVER NORTH-EAST AFRICA AND ARABIA**	**556**
Wend-kuni Dina Antine ZOUGMORE, Jean-Marie DIPAMA	**LE COMPLEXE ÉCOLOGIQUE PONASI : SOURCE DE RÉSILIENCE DANS UN CONTEXTE DE CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LA RÉGION DU CENTRE-SUD DU BURKINA FASO**	**562**

CLIMAT ET SANTÉ

Mohamed Ali ABDMOULEH et Salem. DAHECH	**VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE AU NO2 PAR TEMPS STABLE DURANT LA SAISON ESTIVALE DANS LE 13EME ARRONDISSEMENT DE PARIS**	**569**
Gouanda Thibaut BEA ; Koffi Sébastien OUFFOUE ; Marcel Konan YAO ; Ossey Bernard YAPO	**CONTAMINATION PAR LE POLONIUM 210 ET RISQUES CANCERIGENES DES CIGARETTES VENDUES EN COTE D'IVOIRE**	**575**
Aissam BOUAICHE , Hind FATTAH , Nidal LOTFI & Mohammed Said KARROUK	**EVOLUTION DES VAGUE DE FROID DE FORTE INTENSITE ET CIRCULATION ATMOSPHERIQUE AU MAROC SEPTENTRIONAL**	**581**

Adjéré Darius CHABI, Sourou Henri TOTIN VODOUNON	**CONTRAINTES BIOCLIMATIQUES ET IMPACTS SUR LA SANTE PHYSIQUE ET PSYCHIQUE DES POPULATIONS DU DOMAINE SOUDANIEN DU BENIN**	**587**
Loïc DAVID, Nicolas MARILLEAU, Médard AGBAYAZON, Francis BOKOSSA, Richard LALOU, Nadège MARTINY	**DE LA MESURE A LA CONSTRUCTION DE CARTE DE QUALITÉ DE L'AIR PAR LA MODÉLISATION A BASE D'AGENTS : L'EXEMPLE DE COTONOU**	**593**
Iba Dieudonné DELY, Yao Etienne KOUAKOU, Madina DOUMBIA, Abdoulaye TALL , Brama KONE , Matthieu CHERSICH , Stanley LUCHTERS , Guéladio CISSE	**VAGUES DE CHALEUR ET PERCEPTION PUBLIQUES DANS LA VILLE D'ABIDJAN COTE D'IVOIRE**	**599**
Kpaka Sabine DIOBO Epse DOUDOU	**FACTEURS CLIMATIQUES ET SOCIAUX DANS L'EMERGENCE DES INFECTIONS RESPIRATOIRES AIGUËS DANS LA VILLE DE KORHOGO**	**605**
Laurenda Carmen GNELE, Kannayi Frédéric LODOUHOUÉ et Expédit Wilfrid VISSIN	**REPOSITIONNEMENT DES MÉTHODES MODERNES DE CONTRACEPTIONS ET RISQUE DE FLAMBÉE DES IST/VIH/SIDA CHEZ LES JEUNES DE 15-24 ANS DE LA VILLE DE COTONOU**	**611**
Gbamain Eric GOGOUA, Seydou Kadodjomon SORO	**PERCEPTION DE LA VARIABILITE CLIMATIQUE ET DES RISQUES NATURELS : CAS DE LA VILLE DE KORHOGO AU NORD DE LA COTE D'IVOIRE**	**617**
Régis JUVANON DU VACHAT	**PANORAMA DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE EN FRANCE (2001-2024)**	**623**
Djaha Levix Nadir KOFFI, Vami Hermann N'GUESSAN BI, Kouadio Justin KONAN	**DYNAMIQUE SAISONNIÈRE DES POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES DANS LE DISTRICT D'ABIDJAN : APPORT DE LA TÉLÉDÉTECTION ET D'UN WEBSIG**	**629**
Thomas LAGELOUZE, Sandra ROME, Julia HIDALGO, Sylvain BIGOT	**CARACTÉRISATION SPATIALE DU CONFORT THERMIQUE DIURNE EN MILIEU URBAIN : APPLICATION DE LA TEMPÉRATURE OPÉRATIVE SUR LES COMMUNES DE GRENOBLE ET ÉCHIROLLES (FRANCE)**	**635**
Sarah MARION, Nadège MARTINY & Pascal ROUCOU	**APPORT DES PRODUITS CAMS POUR L'ANALYSE DES DYNAMIQUES METEOROLOGIQUES REGIONALES : LE CAS DE LA BOURGOGNE FRANCHE-COMTE**	**641**
Crépin MENSAH, Maximilien Patrice BOKO, Kouété Hervé KOUDJEGA, Joseph SATONDJI, Expédit Wilfrid VISSIN	**BIOCLIMAT HUMAIN ET IMPLICATION SANITAIRE DES POPULATIONS DE OUIDAH ET DE GRAND-POPO AU SUD DU BENIN**	**647**
Sandra ROME, Gilles BISSON, Annette CASAGRANDE et Julien MARINESCU	**IMPACT SANITAIRE DU STRESS THERMIQUE À GRENOBLE ET ÉCHIROLLES (FRANCE)**	**653**
Tébouwa Gislaine SANGA PEMA, Toundé Roméo Gislain KADJEGBIN et Hadiza KIARI FOUGOU	**EPISODES CLIMATIQUES ET SANTE DES FEMMES DANS LA COMMUNE DE NATITINGOU AU NORD OUEST DU BENIN**	**659**
Joseph SATONDJI, Patrice Maximilien BOKO., Kouété Hervé KOUDJEGA, Expédit Wilfrid VISSIN	**RYTHME PLUVIOMETRIQUE ET REPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DU PALUDISME DANS LA ZONE SANITAIRE DASSA-GLAZOUE AU SUD DU BENIN**	**665**
Sophie Pulchérie TAPE	**FACTEURS HYDRO-CLIMATIQUES ET PROBLEMES SANITAIRES DANS LA VILLE DE OUELLE (CENTRE-EST DE LA COTE D'IVOIRE)**	**670**
Fanès AZALOU TINGBE	**INFLUENCE DE LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE SUR LA SANTÉ DES ENFANTS DE 0 À 5 ANS EN MILIEU LACUSTRE AU SUD DU BÉNIN**	**676**
Ibrahima TOURE, Mamadou SARR, Ibrahima NGOM, Issa LEYE, Didier Maria NDIONE, Moussé Landing SANE, Soussou SAMBOU.	**MODELISATION PAR LA LOI GPD DES VAGUES DE CHALEUR ET QUANTIFICATION DES SEQUENCES DE SECHERESSE A KEDOUGOU AU SENEGAL**	**682**
Lou Ruth Victoire VANIE, Akoua Assunta ADAYE, Justin Kouadio KONAN	**PRATIQUES LIÉES À L'UTILISATION DES FOYERS TRADITIONNEL ET IMPACTS SUR LA SANTÉ DES FEMMES DE YAO SÉHI DANS LA COMMUNE DE YOPOUGON**	**688**

CLIMAT ET TOURISME

Gildas ADJAHO	**ÉTUDE DES TECHNIQUES DE PREPARATION ET DES PERSPECTIVES DE VALORISATION DU METS**	**695**

	TRADITIONNEL *ATCHONKOUN* DANS LA CULTURE GASTRONOMIQUE DES FON D'ABOMEY AU BENIN	
Cokou Romain AHLINVI, Expedit Wilfrid VISSIN, Jean-François FAÜ, Jacques AGUIADAHO	**ENJEUX ET PERSPECTIVES DE LA VALORISATION DU PATRIMOINE NATUREL DES COMMUNES DU SUD BÉNIN-TOGO**	**701**
Mèmèdé Angèle BOKO-HAYA, Didier N'DAH, Wilfrid Expédit VISSIN	**EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE PATRIMOINE CULTUREL DU LITTORAL BENINOIS : CAS DE LA COMMUNE DE GRAND-POPO**	**707**
Raharisoa Stélina DEDY, Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY et Lucien RAMIANDRISOA	**VERS UNE COMPETITIVITE ORGANISATIONNELLE DE L'ATTRACTIVITE TOURISTIQUE DANS LA COMMUNE RURALE DE MANOMPANA, DISTRICT DE SOANIERANA IVONGO, NORD-EST DE MADAGASCAR**	**712**
Racilia S.E. GANTA, Fubbi R.S. GBAGUIDI, Finagnon T.K. FASSINOU, Marc SOHOUNNON, Expédit W. VISSIN, Stéphanie CRABECK, Matthias GOSSELIN, & Aimé H. BOKONON-GANTA	**TECHNIQUES DE PRODUCTION ET DE VALORISATION DES GRILLONS DANS L'ALIMENTATION HUMAINE**	**718**
Florence Koussi GBESSO, Kannayi Frédéric LODOUHOUÉ, Sylvain DAAVO	**OUTILS D'ATTENUATION ET DE RESILIENCE DES COMMUNAUTES FACE AUX RISQUES ET CATASTROPHES CLIMATIQUES DE L'AIRE COMMUNAUTAIRE DE CONSERVATION DE LA BIODIVERSITE DE LA BOUCHE DU ROY RÉSERVE DE BIOSPHERE DU MONO-BÉNIN**	**724**
Gil MAHE, Oula AMROUNI, Abderraouf HZAMI, Essam HEGGY	**IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DES BARRAGES SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE TOURISME DU LITTORAL NORD DE TUNIS**	**730**
Alexandre OKE, Sèlomè Hilaire AÏMADE, Olive Kokouvi ADISSODA, Fabrice GNIDETE, Expédit Willfrid VISSIN	**CROISSANCE URBAINE DANS LA COMMUNE D'ALLADA : ENJEUX, DEFIS ET PERSPECTIVES**	**736**
Hery Lisy Tiana RANARIJAONA, Nandrianina RAKOTOSON, Vololoniaina NJATONANDRASANA, Tiantsoa ANDRIANASETRA, Whisler ANDRIAN'I, Lucien RAMIANDRISOA, Zafihita GASPARIEL, Michael BEFINOANA, Sylvana TOMBOANONA, Christian Chéri TOTONDRABESA, Cyrille MAHAROMBAKA, Auguste Botovao RAMIANDRISOA, Jorlin TSIAVAHANANAHARY, Vavindraza, Emilienne RASOANANDRASANA	**ARTISANAT ET TOURISME FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE : CAS DE LA REGION BOENY MADAGASCAR**	**742**
Lawomi Patrice SENOU ; Karimoune MAHAMAN ; Eline TCHINHOUN Epouse AGOLIGAN; Hervé KOUDJEGA	**ANALYSE DES POSSIBILITES DE DEVELOPPEMENT DE L'AIRE SOCIO-CULTURELLE DE WEME PAR LA VALORISATION TOURISTIQUE DES RESSOURCES EN EAU POUR LE DEVELOPPEMENT DE L'AIRE SOCIO-CULTURELLE WEME**	**748**
Marc SOHOUNNON, S.E. Racilia GANTA, Stéphanie CRABECK, Matthias GOSSELIN, Aimé H. BOKONON-GANTA et Expédit W. VISSIN	**AMELIORATION DES TECHNIQUES DE TRANSFORMATION DES INSECTES COMESTIBLES EN PRODUITS INNOVANTS (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)**	**754**
Tsaralaza Jorlin TSIAVAHANANAHARY, Rindramampionona Fanambinantsoa Ankasitrahana RANDRIAMIFIDISON, Sylvana TOMBOANONA et Vololomboahangy RANDRIANJAFY RASOLOARISOA	**ETUDE D'AMENAGEMENT ET VALORISATION DU TOURISME ORNITHOLOGIQUE FACE A LA SITUATION CLIMATIQUE DE LA PARTIE OUEST DE MADAGASCAR**	**760**
Expédit Wilfrid VISSIN, Nelly KELOME, N. Patrice Maximilien BOKO, et Kannayi Frédéric LODOUHOUÉ	**VALORISATION DES POTENTIALITES TOURISTIQUESET PROPOSITION D'UNE APPROCHE STRATEGIQUE DANS LA VILLE DE DJOUGOU**	**766**

TOPOCLIMATOLOGIE

Rafiatou BAMISSO	**CARACTERISATION DE LA MANGROVE ET DES SEDIMENTS DE LA LAGUNE COTIERE DANS LA COMMUNE DE OUIDAH AU SUD-BENIN**	**773**
Daniel GOMIS, Aminata NDIAYE et Aliou GUISSE	**VARIABILITE PLUVIOMETRIQUE ET DYNAMIQUE PAYSAGERE DE LA MANGROVE : INCIDENCES SUR LES FLUX DES STOCKS EN CARBONE DE LA BIOMASSE DANS L'ARRONDISSEMENT DE DJILOR A FATICK (SENEGAL)**	**779**

Kan Emile KOFFI, Aya Douda ADEGNIKA, Mathieu Jonasse AFFRO	**TOPOCLIMAT ET ORGANISATION DES FORMATIONS VÉGÉTALES DANS LE DOMAINE DES CHAINES DE COLLINES BAOULÉ (CENTRE-EST DE LA CÔTE D'IVOIRE)**	**785**
Cris Chesnel MAKETO	**IMPACTS DU CLIMAT SUR LES ÉCOSYSTÈMES DE MANGROVE DANS LA ZONE CÔTIÈRE CONGOLAISE**	**791**
Joel Lamine Isidore MANGA ; Daniel GOMIS ; Diatou THIAW ; Iulian-Horia HOLOBÂCĂ ; Sidia Diaouma BADIANE	**VARIABILITÉ CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DE LA MANGROVE DES ESTUAIRES DU SALOUM ET CASAMANCE (SÉNÉGAL)**	**797**
Samuel MARCHANTE-GIL, Salem DAHECH	**INFLUENCES DES MARÉES SUR LA BRISE LITTORALE EN MÉDITERRANÉE : LE CAS D'ALICANTE (LEVANT ESPAGNOL)**	**802**
Sylvana TOMBOANONA, Santatra Francine RASOARILALAO, Christian Chéri TOTONDRABESA, VAVINDRAZA, Hery Lisy Tiana RANARIJAONA et Jorlin Tsaralaza TSIAVAHANANAHARY.	**ETAT ACTUEL DES ZONES RAPHIERES FACE AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET AUX ACTIVITES ANTHROPIQUES CAS DE L'AIRE PROTEGEE COMPLEXE ZONES HUMIDES MAHAVAVY-KINKONY**	**807**