

TENDANCES SAISONNIERES DES PRECIPITATIONS ET DES PRESSIONS DE SURFACE DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN (1915-1988)

C. NORRANT ET A. DOUGUEDROIT

*Institut de Géographie, Université de Provence, 29 avenue Robert Schuman,
13621 Aix-en-Provence Cedex 1. Tél. (33) 4 42 95 38 71. Fax. (33) 4 42 64 01 58
e-mail: cnorrant@hotmail.com; annick.douguedroit@up.univ-aix.fr*

Résumé

Nous avons étudié les tendances des précipitations régionales saisonnières (automne, hiver, printemps et saison pluvieuse) dans le Bassin méditerranéen entre 1915 et 1988. Le calcul de tendances linéaires, au pas de temps saisonnier, montre dans la plupart des régions une diminution des précipitations qui n'est pas significative, sauf dans quelques cas comme celui de la Grèce pendant l'ensemble de la saison pluvieuse. Nous avons comparé ces résultats à l'évolution tendancielle des pressions de surface entre les mêmes dates et sur une large fenêtre (30°W-45°E sur 30°N-45°N) d'une résolution de 5° long, x 5° lat. Nous avons pu déterminer une augmentation significative des pressions de surface atteignant en moyenne plus de 1hPa sur la quasi totalité du bassin. Enfin, nous avons mis en relation les tendances des précipitations et des pressions de surface dans une même région. Par corrélation simple, nous avons donc mis en évidence la relation significative inverse qui existe entre les deux paramètres in situ, c'est-à-dire au-dessus d'une même région: en effet, là où nous trouvons une diminution, significative ou non, des précipitations, les pressions de surface augmentent significativement au-dessus de la même région.

Abstract

Regional rainfall trends have been studied during several seasons (autumn, winter, spring and rainy season) in the Mediterranean area between 1915 and 1988. Linear trends have been calculated. No significant rainfall trend has been found during all the seasons, except in Greece for the entire rainy season when rainfall decreases. These results have been compared with sea level pressure trends over a large window (30°W-45°E; 30°N-45°N) with a resolution of 5° long, x 5° lat. during the same period. All over the study area, sea level pressures increase significantly (a mean of more than 1hPa). At last relations between the rainfall and sea level pressure evolutions have been researched in a same region. A significant inverse relation in situ between the two parameters has been determined by linear correlation: where rainfall decrease, significantly or not, sea level pressures increase significantly over the same region.

Mots-clés : précipitations, pressions de surface, tendances des précipitations et des pressions au X^e siècle, Bassin méditerranéen.

Keywords : precipitation, sea level pressure, rainfall and pressure trends during the Xth century, Mediterranean area.

Introduction

La perspective actuelle du changement climatique laisse présager dans le Bassin méditerranéen, pour ce siècle, de graves difficultés dans la gestion des ressources en eau, alors que les scénarios de sortie des modèles s'accordent sur une diminution de sa pluviométrie (IPCC, 2001). Les objectifs de cette étude sont dans un premier temps de déterminer les tendances saisonnières des précipitations régionales. Cependant, nous nous sommes demandé si l'évolution moyenne des précipitations était en relation avec une évolution moyenne des pressions de surface: en effet, une diminution moyenne de ces dernières créerait des conditions plus propices au développement de perturbations, mais le changement pourrait tout aussi bien se produire dans une modification de la variabilité. C'est pourquoi

nous avons calculé les tendances saisonnières du champ de pressions de surface. Enfin, nous nous sommes demandé quelles relations existent entre les deux paramètres in situ.

Ce travail s'appuie sur une étude antérieure de régionalisation des précipitations (Douguédroit, 1998), qui a abouti à une subdivision en six sous-régions qui se maintiennent plus ou moins au cours des saisons: la sous-région atlantique, les golfes de Valence et du Lion, le Maghreb (Maroc excepté), le golfe de Gênes, la Grèce et le Moyen-Orient. Par ailleurs, les tendances des précipitations dans le Bassin méditerranéen ont parfois été étudiées, mais sur des périodes plus courtes que le siècle, ou ne concernant pas l'ensemble méditerranéen mais uniquement la côte septentrionale (Schonwiese et al., 1993). Un autre type d'étude concernant les tendances des pluies a porté à la fois sur des stations et des régions pluviométriques (par exemple Monton-Chiva et Quereda-Sala, 1997, Quereda-Sala et al., 2001, Douguédroit et Norrant, 2002). Quant à l'évolution des pressions de surface, une étude a porté sur la rive nord méditerranéenne (Schonwiese et al., 1993) et une autre encore sur le Moyen-Orient (Kutiel, 1991). Plus récemment, elles ont été étudiées au-dessus de l'Europe méridionale et de la Méditerranée (Maheras et al., 1997, 1998).

1. Données et méthodes

1.1. Données

Les données de précipitations sous forme de cumuls mensuels proviennent de 40 stations réparties de façon non homogène sur le pourtour méditerranéen et la côte atlantique à même latitude. 15 stations supplémentaires ont été utilisées afin d'affiner les limites des régions, mais n'ont pas été prises en compte dans l'étude, leurs séries étant trop courtes. Cependant, elles ont permis d'identifier comme région à part entière l'Adriatique, que nous n'avons pas traitée par manque de données (figure 1). Ces données ont été fournies par le CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center, USA), les services météorologiques nationaux et des communications personnelles.

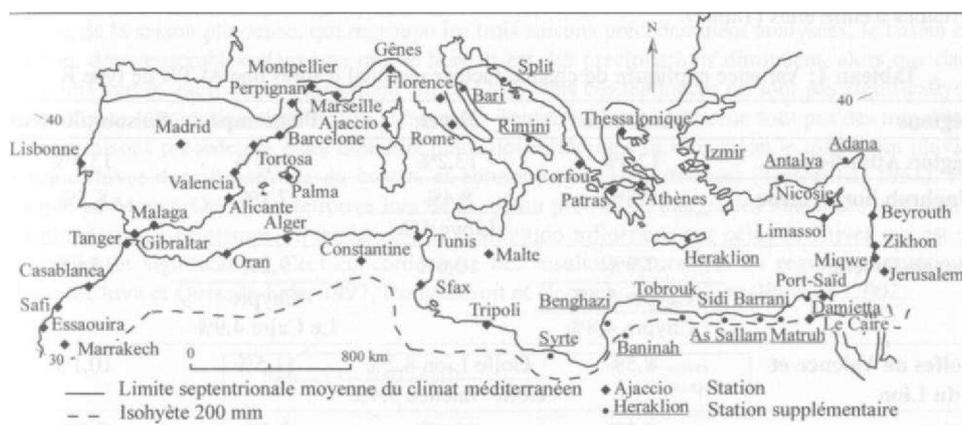


Figure 1 : Réseau des stations pluviométriques.

Le champ de pressions de surface concerne une fenêtre allant en latitude de 30°N à 45°N et en longitude de 30°W à 45°E, avec une maille d'étude de 5° lat. x 5° long. Ce sont des moyennes mensuelles, fournies par le UKMO (United Kingdom Meteorological Office, R.U.).

L'étude s'étend de 1915 à 1988, soit 73 ans de données, les bornes ayant été choisies en fonction de la disponibilité des données. Quatre pas de temps ont été étudiés: l'automne (septembre à

novembre), l'hiver (décembre à février), le printemps (mars à mai), et la saison pluvieuse (de septembre à mai). L'été n'a pas été étudié, étant données les faibles quantités de pluie qui tombent lors de cette saison en climat méditerranéen. A ces pas de temps, les précipitations ont été considérées en tant que cumulés et les pressions en tant que moyennes.

1.2. Méthodes

Diverses techniques statistiques ont été utilisées. En premier lieu une analyse en composantes principales avec rotation (ACPR) de type Varimax (Richman, 1985) de type R (variables: 40 stations, observations: 73 saisons ou années), ayant pour particularité de conserver l'orthogonalité des facteurs, a été employée afin d'établir la régionalisation des pluies. Les saturations des variables sur chaque facteur nous permettent d'effectuer la régionalisation. Nous avons calculé les tendances linéaires des scores de ces facteurs qui représentent les précipitations régionales standardisées et de chaque point de grille des pressions de surface. Puis par interpolation linéaire par triangulation entre chacun de ces points, nous avons reconstitué le champ d'évolution des pressions de surface (Schönwiese et al., 1993). Afin de faire la part des évolutions significatives, nous avons testé ces tendances par un test non paramétrique sur les rangs, celui de Kendall (Sneyers, 1975), que nous avons considéré comme significatif au niveau 0,05 (soit une marge d'erreur de 5%).

Enfin, nous avons calculé des corrélations simples entre les scores de facteur de chaque région pluviométrique et tous les points de grille des pressions de surface. A nouveau par interpolation linéaire par triangulation entre les points de grille, nous avons reconstitué le champ de corrélation (Schönwiese et al., 1993). Nous avons considéré celles-ci comme significatives par le test de Bravais-Pearson au niveau 0,02.

2. Tendances des précipitations régionales

Six sous-régions avec une variance expliquée totale de 64,1 % sont déterminées lors de la saison pluvieuse. Elles se maintiennent lors des autres saisons, même si des subdivisions apparaissent dans certaines d'entre elles (Tabl.1).

Tableau 1: Variance expliquée de chaque facteur régional d'après une ACPR de type R.

Régions	Automne	Hiver	Printemps	Saison pluvieuse
Région Atlantique	12,4%	13,2%	14,9%	13,6%
Maghreb hors Maroc	7,5%	8,4%	7,1%	8,5%
		Libye 5%		
Moyen-Orient	7,9%	10,6%	9,2%	15,9%
	Egypte 5,4%		Chypre	
	Chypre 4,8%		Le Caire 4,9%	
Golfes de Valence et du Lion	8,5%	Golfe Lion 8,2%	11,5%	10,1%
		Golfe Valence 5,4%		
Grèce	5,7%	10,4%	7,2%	7,5%
Golfe de Gênes	7%	5,4%	7%	8,5%
	Italie 6,2%			
Total	65,4%	66,6%	61,8%	64,1%

Les tendances régionales saisonnières des précipitations calculées sur les valeurs des scores sont représentées sur la figure 2a, b, c. La majorité d'entre elles sont négatives et non significatives. Sont néanmoins négatives et significatives celles de l'Italie en automne, et du Moyen-Orient en hiver. On

trouve néanmoins des tendances à la hausse en Afrique du Nord (automne), au Moyen-Orient (automne, printemps), sur le golfe de Gênes (hiver), dans la sous-région atlantique (hiver), sur les golfes de Valence et de Lion (printemps). Parmi ces tendances positives, seule celle du Moyen-Orient au printemps est significative.

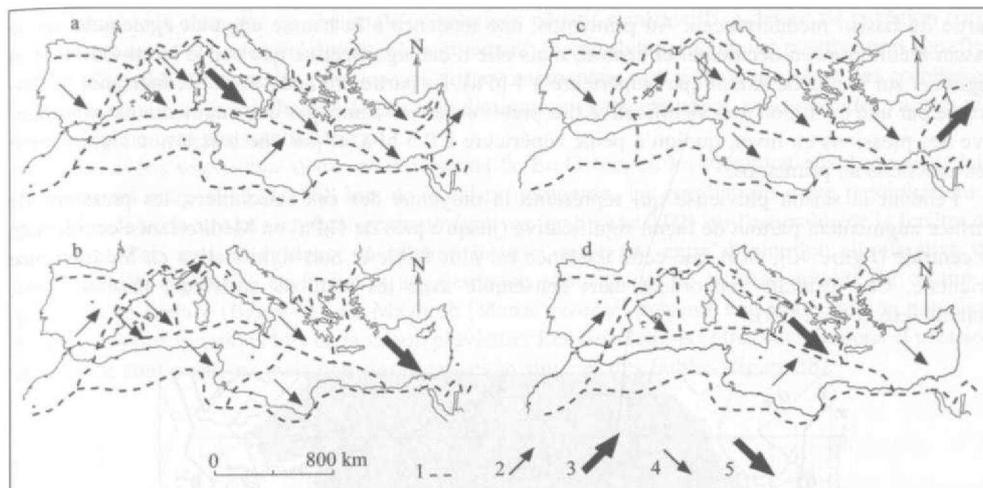


Figure 2 : Tendances des précipitations régionales, a: automne; b: hiver; c: printemps; d: saison pluvieuse.

1: limite de région obtenue par ACPR; - 2: tendance croissante des précipitations;

3: tendance croissante significative des précipitations; - 4: tendance décroissante des précipitations;

5: tendance décroissante significative des précipitations.

Lors de la saison pluvieuse, qui regroupe les trois saisons précédemment analysées, le bassin est divisé en deux ensembles: dans une moitié nord et est, les précipitations diminuent, alors que dans une moitié sud et ouest, elles augmentent (figure 2d). Mais ces tendances ne sont pas significatives, sauf en Grèce (diminution significative) (figure 3). Toutefois, ces résultats ne sont pas des moyennes des trois saisons précédentes étant donné le poids des différentes saisons selon le maximum pluviométrique: hiver dans l'ensemble du bassin, et automne dans le nord-ouest (Trewartha, 1961). Par exemple au Moyen-Orient on retrouve lors de la saison pluvieuse, malgré les tendances croissantes en automne et au printemps, la tendance à la diminution influencée par celle de l'hiver qui est de même sens et significative. Ceci concorde avec des résultats stationnels ou régionaux antérieurs (Monton-Chiva et Quereda-Sala, 1997, Douguédroit et Norrant, 2002, Moisselin et al., 2002).

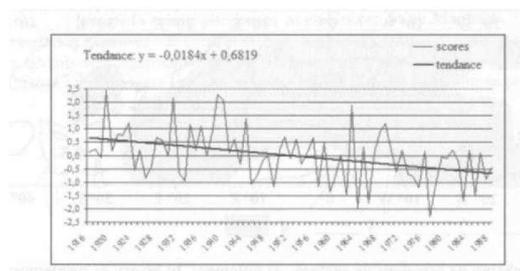


Figure 3 : Tendance décroissante significative ($u(t)=-2,69$) des précipitations standardisées en Grèce (saison pluvieuse).

3. Tendance du champ de pressions de surface

Les pressions de surface saisonnières ont tendance à augmenter sur la quasi totalité du Bassin (figure 4a, b, c), mais de façon inégale selon les saisons. Cette tendance à la hausse est significative et importante sur le bassin méditerranéen occidental et central en automne (supérieure à 2 hPa au nord-ouest). Elle reste très faible (inférieure à 0.5 hPa) et non significative en hiver sur une bonne partie du bassin méditerranéen. Au printemps, une tendance à la hausse apparaît également sur le bassin méditerranéen occidental et central, mais elle n'est significative que sur le Nord-Ouest de la région et sur le proche Atlantique (supérieure à 1 hPa). La partie orientale de la Méditerranée se distingue par une évolution non significative des pressions en automne, par une augmentation significative des pressions en hiver, quoiqu'à peine supérieure à 0.5 hPa, et par une baisse non significative des pressions au printemps.

Pendant la saison pluvieuse qui représente la moyenne des cas saisonniers, les pressions de surface augmentent partout de façon significative (jusqu'à près de 1hPa) en Méditerranée occidentale et centrale (figure 4d), alors que cette tendance est plus faible et non significative en Méditerranée orientale. Ces résultats concordent dans l'ensemble avec les résultats antérieurs (Kutiel, 1991, Schönwiese et al., 1993).

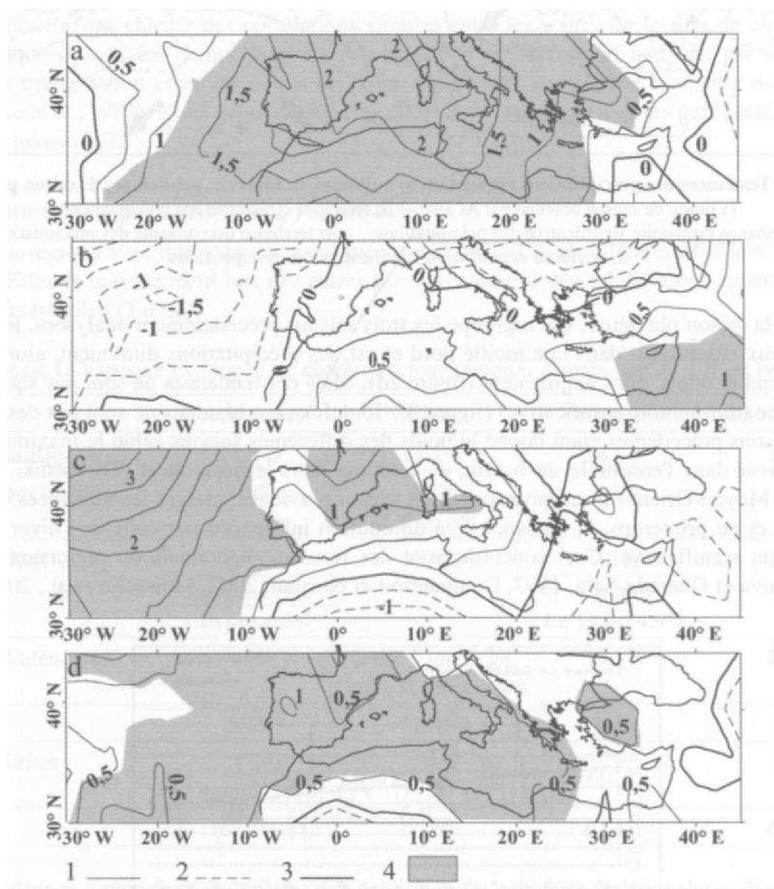


Figure 4 : Tendances du champ de pressions de surface, a: automne; b: hiver; c: printemps; d: saison pluvieuse. 1: isallobare positive (gradient 0,5); - 2: isallobare négative (gradient 0,5); - 3: isallobare zéro; - 4: évolution significative.

4. Relations entre précipitations régionales et champ de pressions de surface in situ

Rappelons que nous avons corrélé chaque région pluviométrique avec l'ensemble des pressions de surface en points de grille. Puis nous avons de nouveau procédé par interpolation linéaire par triangulation entre les points (Schönwiese et al., 1993), afin de reconstituer un champ de corrélations. Dans la mesure où les pressions de surface augmentent de façon significative, là où les précipitations diminuent, nous obtenons un champ de corrélations négatif significatif au-dessus de la région corrélée. En revanche là où les précipitations augmentent, la corrélation in situ est positive non significative et très faible. Lorsque les pressions de surface augmentent non significativement, les corrélations négatives in situ avec les champs de pluie en diminution se maintiennent, mais avec des valeurs plus faibles qui ne sont pas significatives.

Nous avons sélectionné deux cas représentatifs. En Grèce, où les précipitations diminuent significativement entre 1915 et 1988 lors de la saison pluvieuse, les corrélations entre précipitations et pressions de surface sont significativement négatives (au niveau 0,02) sur l'ensemble de la fenêtre des pressions. Cela met en évidence la relation inverse qui existe entre diminution significative des précipitations régionales en Grèce et augmentation significative de la quasi totalité du champ de pressions de surface (figure 5a). Le Maghreb (Maroc excepté) présente une augmentation non significative des précipitations lors de la saison pluvieuse. Les corrélations entre précipitations et pressions de surface sont positives mais non significatives in situ, car très faibles (figure 5b).

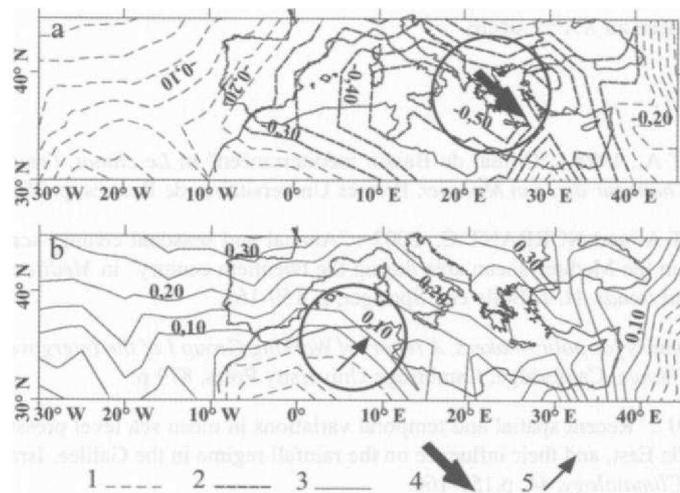


Figure 5 : Champs de corrélations entre précipitations régionales et champ de pressions de surface lors de la saison pluvieuse, a: en Grèce; b: au Maghreb.

- 1: corrélation négative; - 2: corrélation négative significative; - 3: corrélation positive;
 4: tendance décroissante significative des précipitations; - 5: tendance croissante des précipitations.
 Chaque cercle entoure la région pluviométrique corrélée au champ de pressions.

Conclusion

Après avoir procédé à une régionalisation par ACPR (de type Varimax) des précipitations dans le Bassin méditerranéen au cours des saisons d'automne, hiver, printemps et sur l'ensemble de la saison pluvieuse, nous avons calculé les tendances linéaires régionales de chaque saison. Celles-ci montrent qu'une diminution non significative des pluies domine sur l'ensemble méditerranéen pendant le XX^e siècle. Quelques tendances significatives font exception: la Grèce lors de la saison pluvieuse et l'Italie en automne où les précipitations diminuent, ainsi que le Moyen-Orient où les pluies baissent en hiver et augmentent au printemps.

Les pressions de surface, quant à elles, évoluent dans le sens d'une augmentation qui, atteignant plus de 1hPa pendant la saison pluvieuse sur l'ouest et le centre de l'ensemble méditerranéen, est significative lors de la plupart des saisons. Les pressions de surface sur l'est méditerranéen augmentent faiblement (moins de 0,5hPa) et non significativement, sauf au printemps.

Enfin, lorsque nous comparons les précipitations régionales et le champ de pressions de surface, il apparaît que lorsque les précipitations diminuent significativement (comme en Grèce) ou non (comme dans la majorité du Bassin) alors que les pressions de surface augmentent significativement, les corrélations sont négatives et significatives. Au contraire, avec les augmentations non significatives des précipitations associées à des augmentations de pression significatives, notamment dans le sud du Bassin, les corrélations obtenues sont positives, très faibles et non significatives. Il y a donc bien cohérence entre les tendances régionales des précipitations et des pressions de surface dans le Bassin méditerranéen au XX^e siècle.

Bibliographie

- DOUGUEDROIT A., 1998 : "Climat du Bassin méditerranéen" in *Le climat, l'eau et les hommes. Ouvrage en l'honneur de Jean Mounier*. Presses Universitaires de Rennes, p. 251-280.
- DOUGUEDROIT A. and NORRANT C., 2002 : "Annual and seasonal century-scale trends of the precipitation in the Mediterranean area during the twentieth century" in *Mediterranean Climate. Variability and trends*. H.-J. Bølle éd., Springer, p. 159-163.
- IPCC, 2001 : *Summary for policymakers. A report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press, 879 p.
- KUTIEL H., 1991 : "Récent spatial and temporal variations in mean sea level pressure over Europe and the Middle East, and their influence on the rainfall régime in the Galilée, Israël", *Theoretical and Applied Climatology*, 44, p. 151-166.
- MAHERAS P., KUTIEL H. et KOLYVA-MACHERA F., 1997 : "Evolution de la pression atmosphérique en Europe méridionale et en Méditerranée durant la dernière période séculaire", *Publications de l'AIC*, 10, p. 304-312.
- MAHERAS P., KUTIEL H. et VAFIADIS M., 1998 : "Tendances spatiales et temporelles de la pression atmosphérique de surface et des géopotentiels de 500hPa en Europe méridionale et en Méditerranée durant la période 1950-1994", *Publications de l'AIC*, 11, p. 345-351.
- MOISSELIN J.-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C. et MESTRE O., 2002 : "Les changements climatiques en France au XX^e siècle", *La Météorologie*, 38, p. 45-56.
- MONTON-CHIVA E. and QUEREDA-SALA J., 1997 : *Hacia un cambio climático? La evolución de la climatología mediterránea durante el siglo XIX* Fundación Davalos-Fletcher Pastellon 570 n

- QUEREDA-SALA J., MONTON-CHIVA E., GIL A., OLCINA J. et RICO A., 2001 : *Nuestro porvenir climático: ¿Un escenario de aridez?* Premi d'investigació Consejo Social de la Universität Jaume I. 210 p.
- RICHMAN M.B., 1985 : "Rotation of principal component", *Journal of Climatology*, 6, p.293-335.
- SCHÖNWIESE CD., RAPP J., FUCHS T. and DENHARD M., 1993 : *Klimatrend-Atlas, Europa 1891-1990*, *Berichte des Zentrums für Umweltforschung*, 20, 218 p.
- SNEYERS R., 1975 : *Sur l'analyse statistique des séries d'observations*. Note technique n°143 de l'Organisation Météorologique Mondiale, Genève, Suisse. 192 p.
- TREWARTHA G.T., 1961 : *Mediterranean lands. The earth's problem climates*, The University of Wisconsin Press, Madison, USA, p. 223-247.