

## LES CHAMPS DES ANOMALIES PLUVIOMETRIQUES DURANT LA SAISON HUMIDE EN GRECE ET LEURS RELATIONS AVEC LE GEOPOTENTIEL A 500 HPA

P. MAHERAS<sup>(1)</sup> M. M. VAFIADIS<sup>(2)</sup> F. KOLYVA-MACHERA<sup>(3)</sup>  
C. ANAGNOSTOPOULOU<sup>(1)</sup> ET K. TOLIKA W<sup>(1)</sup>

(1) Département de Météorologie et Climatologie, Université Aristotle de Thessaloniki, Grèce,  
[e-mail: maheras@geo.auth.gr](mailto:maheras@geo.auth.gr)

(2) Division d'Hydraulique et de l'Environnement Université Aristotle de Thessaloniki, Grèce

(3) Département de Mathématiques, Université Aristotle de Thessaloniki, Grèce

### Résumé

Cette analyse a pour but principal l'étude des anomalies climatiques par le moyen de la construction et de la description des champs pluviométriques, durant la saison humide (Octobre-Mars), des années humides et des années sèches en Grèce, mises en évidence par l'application de l'analyse en composantes principales aux données pluviométriques d'un réseau de 20 stations, distribuées de façon relativement uniforme sur le terrain, pour la période 1958-1997. En règle générale, l'excès pluviométrique est plus important dans les stations qui reçoivent le maximum des précipitations moyennes de la période humide (le long des côtes Ioniennes) et il diminue dans la mer Egée méridionale (Cyclades). De même, le déficit pluviométrique est plus important le long des côtes Ioniennes mais également aux stations qui se trouvent plus au nord du 39<sup>ème</sup> parallèle. Les anomalies pluviométriques positives sont liées à la présence d'un champ avec des anomalies négatives des géopotentiels au niveau de 500 hPa relativement fortes centrées sur l'Europe centrale et occidentale. Au contraire, les anomalies pluviométriques négatives sont liées à la présence d'un champ avec des anomalies positives centrées également sur l'Europe centrale et occidentale.

### Abstract

The principal goal of this analysis is the study of the climatic anomalies by the means of the construction and the description of the pluviométrie fields, during the humid period (October - March), of the wet and dry years in Greece. These years were revealed by the application of the principal component analysis using the pluviométrie data from 20 meteorological stations evenly distributed over Greece, for the period 1958-1997. Generally, the pluviométrie excess is more important for the stations that receive the maximum of the average precipitation of the humid period (along the Ionian coasts) and it decreases in the meridional Aegean Sea (Cyclades). The pluviométrie deficit is important along the Ionian coasts as well as in the areas situated northern than the 39°N. The relations of the pluviométrie anomalies with the geopotentials at 500 hPa were studied by the means of 500 hPa level anomalies that comprise the years of the positive and negative pluviométrie anomalies. The study of these composites shows that the positive pluviométrie anomalies link to a field with relatively strong negative anomalies of geopotentials centred in central and western Europe. In the contrary, the negative pluviométrie anomalies link to a field with positive anomalies centred in central and western Europe.

Mots clés : Grèce, anomalies pluviométriques, géopotentiels à 500 hPa.

Key words : Greece, pluviométrie anomalies, geopotential at 500 hPa.

### Introduction

La variété des climats de la péninsule hellénique est un fait connu surtout en ce qui concerne la quantité ainsi que le régime des précipitations (Maheras et Kolyva-Machera, 1993; Xoplaki et al, 1998). C'est ainsi que les stations situées le long des côtes et des îles Ioniennes exposées aux vents d'ouest et de sud-ouest très humides sont parmi les plus arrosées non seulement de la Grèce mais

également de toute la Méditerranée, tandis que les stations des Cyclades sont parmi les plus sèches. En ce qui concerne le régime des précipitations, les stations continentales septentrionales connaissent un régime Méditerranéen avec une saison sèche très courte (un ou deux mois) alors que les stations méridionales maritimes ou insulaires présentent un régime pur méditerranéen avec une saison sèche très longue (de quatre à six mois).

Cette analyse a pour but principal : premièrement, l'étude des anomalies climatiques par le moyen de la construction et de la description des champs pluviométriques, durant la saison humide (Octobre-Mars), des années humides et des années sèches en Grèce, mises en évidence par l'application de l'analyse en composantes principales aux données pluviométriques d'un réseau de 20 stations, distribuées de façon relativement uniforme sur le terrain. L'étude des relations des anomalies pluviométriques, avec les géopotentiels à 500 hPa, constitue le second but de cette analyse.

### 1. Données et méthode

On a utilisé les données pluviométriques de la saison humide (Octobre-Mars) de 20 stations helléniques pendant la période 1958-1997 distribuées d'une façon uniforme sur le terrain. On a utilisé également les valeurs moyennes mensuelles des géopotentiels au niveau de 500 hPa. Il s'agit de données du NCEP/NCAR Reanalysis Data Set (Kalnay et al., 1996) aux points d'interception d'un réseau de mailles de  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  situés entre  $20^\circ$  et  $65^\circ\text{N}$  de latitude et  $20^\circ\text{W}$  et  $50^\circ\text{E}$  de longitude.

A partir des précipitations mensuelles des 20 stations nous avons calculé les totaux de la période humide (Octobre-Mars), nous avons ensuite appliqué la technique de l'analyse en composantes principales aux données des précipitations de la période humide ( $n=40$  saisons) de 20 stations ( $m=20$ ) helléniques. La représentation et l'étude des anomalies climatiques se fait par l'examen des scores  $PC^i$  correspondant à la première composante principale qui est une composante de taille. A des valeurs positives de  $PC^i$  ( $l$ =nombre des composantes significatives retenues et  $i$ =nombre des années,  $i=40$ ) correspondent des précipitations excédentaires et aux valeurs négatives de  $PC^i$  correspondent des précipitations déficitaires. L'étude ensuite des relations des anomalies pluviométriques avec les géopotentiels à 500 hPa a été faite par le moyen de la construction des composites des anomalies du niveau 500 hPa comprenant les années des anomalies pluviométriques positives et des anomalies négatives.

### 2. Les anomalies pluviométriques en Grèce

Comme nous l'avions déjà remarqué, la première composante principale est une composante de taille. A partir des valeurs des scores sur cette composante, il est possible de distinguer les anomalies positives des précipitations (scores positifs) et les anomalies négatives des précipitations (scores négatifs). C'est ainsi que pour mettre en évidence les anomalies pluviométriques en Grèce nous avons distingué les années avec des scores positifs et les années avec des scores négatifs. Ensuite, nous avons construit deux ensembles de cartes illustrant les champs des anomalies.

a) Le premier ensemble a été construit par la cartographie des valeurs présentant les rapports entre les précipitations moyennes de la période humide des 4 années présentant les scores positifs les plus forts et les précipitations moyennes correspondantes à la période étudiée. Il est évident que dans ce cas toutes les valeurs de ces rapports doivent être supérieures ou au moins égales à 1. De la même façon ont été construites les anomalies pluviométriques négatives, de la période humide (4 années présentant les valeurs absolues les plus fortes des scores négatifs).

b) Le second ensemble a été construit de la même façon que le premier mais on a choisi uniquement l'année la plus humide (score positif le plus fort) et également l'année la plus sèche (score négatif dont la valeur absolue est la plus forte).

## 2.1. Anomalies pluviométriques positives

### 2.1.1. Anomalies pluviométriques positives fortes (fig. 1a)

L'analyse composite portant sur les 4 années aux scores positifs les plus forts sur le premier facteur (1960-61, 1962-63, 1968-69, 1979-80) révèle que la répartition des isoplètes représentant le rapport des anomalies pluviométriques positives fortes à leurs moyennes est relativement simple. C'est ainsi que l'on observe un premier pôle de fortes anomalies pluviométriques positives dans la mer Egée septentrionale ( $r = 1.50$ ) et au contraire un second pôle de faibles anomalies pluviométriques au sud dans les Cyclades ( $r = 1.0$ ). C'est ainsi que la Grèce est divisée en deux parties tout au long d'une ligne allant de  $37^\circ$  de latitude à l'ouest au  $39^\circ$  à l'est. Au nord et au nord-ouest on trouve des anomalies pluviométriques positives plus importantes que dans le sud et le sud-est du pays. On trouve également des anomalies relativement fortes tout au long de la mer Egée orientale près de côtes turques.

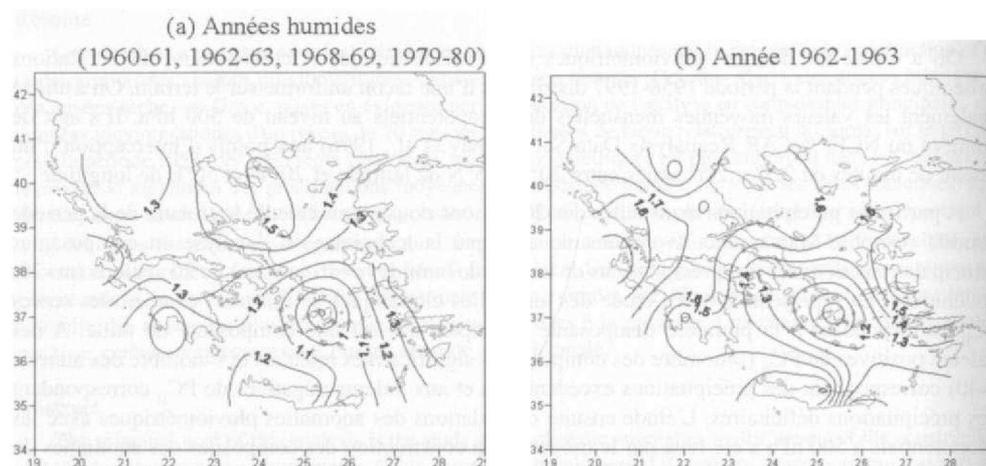


Figure 1 : Les anomalies pluviométriques positives fortes (a) et excessives (b).

### 2.1.2. Anomalies pluviométriques positives excessives (fig 1b)

L'année 1962-1963 est le meilleur exemple des anomalies pluviométriques positives excessives sur l'ensemble de la Grèce. Les lames d'eau recueillies dans toutes les stations sont bien supérieures à la moyenne (excepté la station de Naxos où  $r = 1.0$ ), les rapports varient entre 1.9 (au NW et à l'ouest) et 1.1 au centre des Cyclades. La partie ouest de la Crète ainsi que la mer Egée orientale reçoivent également des rapports très importants ( $r = 1.60$ ). On trouve ainsi à peu près la même image que précédemment mais avec des chiffres plus importants.

## 2.2. Anomalies pluviométriques négatives

Les années sèches sont, en général, plus nombreuses que les années humides; elles sont aussi très diversifiées surtout à échelle saisonnière. Si les excès pluviométriques apparaissent relativement souvent dans l'ensemble de la Grèce, les années sèches obéissent aussi à cette règle. Il n'y a pas également de différence fondamentale avec la répartition géographique des excès. En règle générale le déficit pluviométrique est plus important au nord et à l'ouest de la Grèce et diminue dans la mer Egée méridionale. C'est à dire que la répartition des précipitations, lors des anomalies pluviométriques négatives, est également commandée par le relief, mais dans un sens inverse.

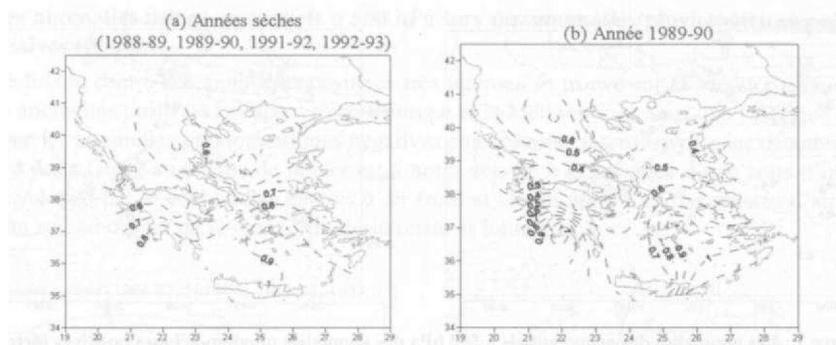


Figure 2 : Les anomalies pluviométriques négatives fortes (a) et excessives (b).

### 2.2.1. Anomalies pluviométriques négatives fortes (fig. 2a)

Les quatre années les plus sèches en Grèce apparaissent durant la fin de la décennie 1980 et le début de la décennie suivante: 1988-89, 1989-90, 1991-92, 1992-93. L'analyse composite des rapports révèle une disposition quasi zonale des isoplètes: de très forts déficits au nord dans la mer Egée septentrionale égaux à 50% et atténuation régulière de ces déficits vers le sud. Le minimum égal à 10% se situe dans la mer Egée méridionale et en Crète.

### 2.2.2. Anomalies pluviométriques négatives excessives (fig. 2b)

L'année 1989-90 est le meilleur exemple, selon les résultats de l'analyse en composante principale, des anomalies pluviométriques négatives excessives sur l'ensemble de la Grèce. La figure 2b révèle que la disposition des isoplètes des rapports est relativement complexe. Le maximum du déficit pluviométrique entre 70% et 60% apparaît le long d'une zone relativement étroite entre 38° et 39° de latitude, s'étendant de la mer ionienne à l'île Eubée. La Grèce continentale du nord ainsi que la mer Egée septentrionale présentent des déficits également importants entre 40% et 60%. D'autre part, il y a deux endroits où le déficit pluviométrique est égal à zéro. Le SW du Péloponèse et le SE de la mer Egée méridionale comprenant aussi une partie des Cyclades de la Crète et des Dodécanèses.

## 3. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques

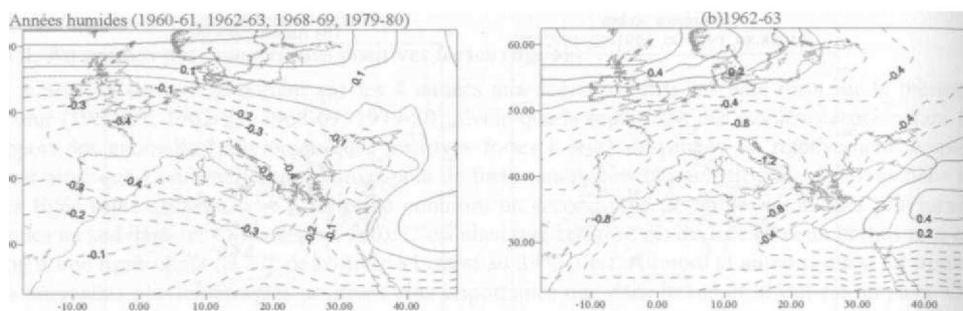
Comme nous l'avons dit précédemment l'étude des relations des anomalies pluviométriques avec les géopotentiels à 500 hPa a été faite par le moyen de la construction des composites des anomalies du niveau 500 hPa comprenant les années des anomalies pluviométriques positives et des anomalies négatives.

### 3.1. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques positives

Nous avons construit deux composites. La première correspond aux anomalies positives fortes et la seconde aux anomalies positives excessives.

#### 3.1.1. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques positives fortes (fig. 3a)

La construction de la composite des anomalies des années les plus humides (1960-61, 1962-63, 1968-69, 1979-80) révèle (fig. 3a) une anomalie négative persistante et très étendue dont le centre se trouve sur la Méditerranée centrale.



**Figure 3 : Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa des anomalies pluviométriques positives fortes (a) et excessives (b).**

Les conditions cycloniques persistent aussi sur toute la Méditerranée et l'Europe exceptée la Scandinavie. Les fortes précipitations sur la partie nord de la Grèce sont le résultat d'une part de l'instabilité de l'atmosphère à cause des conditions cycloniques qui y règnent d'autre part du flux des masses d'air humides qui arrive sur la Grèce par l'ouest et le sud-ouest en provenance de la Méditerranée centrale. Il semble que dans ce cas le rôle privilégié est joué par la position des dépressions qui suivent des trajectoires plutôt septentrionales en traversant la Grèce du nord.

### **3.1.2. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques positives excessives (fig. 3b)**

Le centre des anomalies négatives fortes de la période humide 1962-63 se trouve sur la Méditerranée occidentale et centrale. Le flux dirigé sur la Grèce est d'ouest et sud-ouest. Les précipitations excessives sur notre pays sont le résultat d'une part de la forte instabilité de l'atmosphère à cause des conditions cycloniques qui y règnent, d'autre part du flux des masses d'air humide qui arrive par l'ouest et le sud-ouest. Il semble que dans ce cas l'orographie du Pinde, allongée de NN W à SSE le long du continent joue un rôle très important sur la distribution des précipitations en Grèce, car les valeurs maximales des anomalies de pluies apparaissent le long de la mer ionienne. Des résultats comparables ont été obtenus par Luterbacher et al. (1998) et Xoplaki et al (1998) en étudiant l'influence de la circulation générale et régionale sur les précipitations hivernales en Grèce.

### **3.2. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques négatives**

Nous avons également construit deux composites, la première correspond aux anomalies négatives fortes et la seconde aux anomalies négatives excessives.

#### **3.2.1. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques négatives fortes (fig. 4a)**

Une vaste zone des anomalies positives fortes des géopotentiels est centrée sur la Méditerranée occidentale et l'Europe centrale en occupant presque toute l'Europe et la Méditerranée. Les anomalies négatives fortes des précipitations en Grèce sont le résultat d'une part de la stabilité de l'atmosphère à cause des conditions anticycloniques qui y règnent, d'autre part du flux des masses d'air sec qui arrive par le nord et le nord-est en provenance de l'Europe centrale et orientale. Le fait que les anomalies pluviométriques négatives sont moins fortes voire insignifiantes dans les Cyclades et généralement dans la mer Egée méridionale est probablement lié au réchauffement et à l'humidification par la base des masses d'air sec le long de la mer Egée.

### 3.2.2. Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa lors des anomalies pluviométriques négatives excessives (fig. 4b)

Cette fois le centre des anomalies positives très intenses se trouve sur la Méditerranée occidentale. Ces anomalies positives occupent toute l'Europe et la Méditerranée ainsi que l'Afrique du nord. Le fait que les anomalies pluviométriques négatives soient moins intenses voire inexistantes dans la partie sud de la Grèce au-dessus de la mer est à notre avis lié à la présence d'une zone d'instabilité qui se développe par le contact des masses d'air froid et sec au nord avec des masses d'air tiède et humide au sud au-dessus de la mer Egée méridionale et Ionienne.

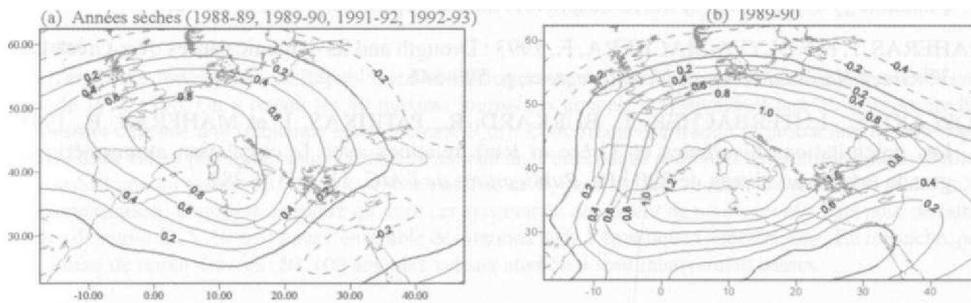


Figure 4 : Les anomalies des géopotentiels à 500 hPa des anomalies pluviométriques négatives fortes (a) et excessives (b).

## Conclusion

Nous avons étudié les anomalies pluviométriques en Grèce (positives et négatives) durant la période humide (octobre-mars) ainsi que les relations de ces anomalies avec les anomalies des géopotentiels au niveau de 500 hPa. Selon les résultats obtenus les anomalies pluviométriques les plus intenses tant pour les excès que pour les déficits apparaissent tant sur la Grèce occidentale le long de la mer ionienne que sur la Grèce du nord continentale et maritime. Au contraire, les Cyclades est l'endroit où les anomalies pluviométriques positives et négatives sont moins intenses voire inexistantes. Les deux régimes les plus importants (anomalies de géopotentiels positives et négatives) de la circulation au niveau de 500 hPa sont bien corrélés avec les anomalies des précipitations en Grèce en apparaissant plausibles du point de vue d'interprétation physique. Les précipitations abondantes en Grèce sont liées au passage des dépressions et des perturbations de nord-ouest de sud-ouest et d'ouest d'origine plutôt Méditerranée. Dans ce cas l'orientation du relief du Pinde et du Rhodope joue un rôle très important. Plus l'altitude et la latitude de la station sont élevées plus les précipitations sont abondantes, plus les anomalies pluviométriques sont fortes.

Au contraire, plus au sud dans la Mer Egée méridionale et plus spécialement dans les Cyclades, la canalisation des masses d'air le long des détroits formés entre les îles et l'absence d'un relief important tous cela contribuent à une stabilisation relative de l'atmosphère, donc, des excès pluviométriques moins importants.

Les anomalies de géopotentiels positives sont principalement responsables des périodes de sécheresse et des anomalies pluviométriques négatives. Mais, pour que la période soit très sèche il faut que les crêtes anticycloniques soit durables. Le passage du courant perturbé d'ouest et de NW pendant la période humide peut entraîner des précipitations importantes peu différentes de la normale, principalement dans les mers ionienne et Egée méridionales. Mais souvent dans la partie nord de la Grèce à l'abri du relief du Rhodope et du Pinde, l'affaissement de l'air venant du secteur nord-est provoque le réchauffement adiabatique et une réduction caractéristique des précipitations. C'est la raison, parmi d'autres pour laquelle le déficit pluviométrique est plus important au nord et à l'ouest qu'au sud dans les Cyclades.

**Bibliographie**

- KALNAY, E., KANAMITSOU, M., KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREBELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HUGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K., ROPELEWSKI, C., WANG, J., JENNE, R. et JOSEPH, D., 1996 : The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, p. 437-471.
- LUTERBACHER, J., E. XOPLAKI, et P. MAHERAS, 1998 : Large-scale atmospheric circulation patterns connected with winter rainfall over Greece. *4<sup>th</sup> National Conference Meteorology - Climatology and Physics of the Atmosphere*, Athens, September 1998, p. 85-92.
- MAHERAS, P. et KOLYVA-MACHERA, F., 1993 : Drought and its dynamic causes over Greek area. *3<sup>rd</sup> Greek National Geographical Congress*, p. 529-546.
- XOPLAKI, E., LUTERBACHER, J., BURKARD, R., PATRIKAS, I. et MAHERAS, P., 1998 : Les précipitations hivernales en Grèce et leurs relations avec la circulation atmosphérique à grande échelle au niveau de 500 hPa. *Publications de l'AIC*, 11, p. 374-382.