

## RELATIONS ENTRE LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE EN GRÈCE ET LES TÉLÉCONNEXIONS SUR L'Océan ATLANTIQUE ORIENTAL

MAHERAS P. (1), TOLIKA K. (1), ANAGNOSTOPOULOU Ch.(1)  
& KOLYVA-MACHERA F.(2)

(1) Département de Météorologie et de Climatologie, Université de Thessaloniki, Grèce, [maheras@geo.auth.gr]

(2) Département de Mathématiques, Université de Thessaloniki, Grèce.

**Résumé** - Cette étude analyse les relations entre les types de circulation de la saison hivernale en Grèce et les valeurs de deux indices : l'indice NAO et l'indice EMPI. L'analyse comprend deux périodes : la période actuelle (1971-2000) et la période future (2071-2100). Les coefficients de corrélation calculés, bien qu'ils soient faibles, apparaissent être significatifs uniquement entre les types de circulation et l'indice EMPI tant pour la période actuelle que pour la période future. L'influence des valeurs des deux indices sur l'apparition des types de circulation est relativement différente. C'est ainsi que les valeurs de NAO contribuent dans leur ensemble à l'apparition des types cycloniques tandis que l'apparition des types anticycloniques est influencée uniquement par la présence des valeurs négatives de l'indice EMPI. Enfin, pour la période future les résultats de l'indice EMPI apparaissent plus semblables à ceux obtenus pour la période actuelle que les résultats donnés par l'indice NAO.

**Mots clés** : Types de circulation, indices de circulation, téléconnexions, Grèce.

**Abstract** - Relationship between the atmospheric circulation over Greece and the teleconnection indices over the north Atlantic-In the present study we analyse the relationships between the circulation types during the winter period, and two teleconnection indices: the NAO index and the EMPI index. The analysis was made for two different time periods, the reference period (1971-2000) and the future period (2071-2100). The correlation coefficients, even though they appear to be quite low, are significant only between the circulation types and the EMPI index both for the reference and the future period. The influence of the two indices values at the appearance of the circulation types is relatively different. Thus, the NAO values contribute to all of the cyclonic types, while the anticyclonic types are influenced only by the presence of the negative EMPI values. Finally, for the future period the results of the EMPI index appear to be similar to those obtained during the reference period, in contrast to the NAO index ones.

**Key words**: Circulation types, circulation indices, teleconnection, Greece.

### Introduction

Le climat de la Méditerranée orientale et des régions avoisinantes varie selon différentes échelles spatio-temporelles. Il est donc essentiel d'entreprendre une étude sur l'identification des principaux mécanismes physiques responsables de la variabilité climatique pouvant également se reproduire à ces différentes échelles spatio-temporelles. Dans la Méditerranée, parmi les principaux acteurs des variabilités climatiques (Maheras *et al.*, 2014), on compte d'une part, l'oscillation Nord Atlantique (NAO) et d'autre part, l'indice EMPI (Eastern Mediterranean Pattern) proposé par Hatzaki *et al.* (2007, 2009) et défini comme les différences des géopotentiels au niveau de 500hPa et de 300hPa comme suite :  $EMPI = gpm(25^{\circ}W, 52.5^{\circ}N) - gpm(22.5^{\circ}E, 32.5^{\circ}N)$ . L'indice possède deux phases : la phase positive et la phase négative. Le pôle ouest de EMPI, qui est plus fort en intensité et plus étendu que le pôle est, se trouve sur l'Océan Atlantique oriental aux environs des îles Britanniques tandis que le pôle est se trouve sur ou au sud de la Grèce. Il en résulte que le pôle ouest est le centre d'action principal de cet indice. EMPI est plus net durant l'hiver (Hatzaki *et al.*, 2007, 2009).

La phase positive de NAO produit des hivers humides et doux au nord alors que les régions au sud, y compris la Méditerranée orientale, sont protégées des perturbations et elles connaissent des hivers plutôt froids et secs. Par contre, pour les hivers correspondants à la phase négative, les dépressions traversant la Méditerranée sont plus nombreuses et plus fortes en apportant de l'air humide, et donc plus de précipitations en Méditerranée orientale. D'autre part, la phase positive de l'indice EMPI produit en Méditerranée orientale des conditions relativement froides et humides et, au contraire, la phase négative de l'EMPI s'accompagne des conditions sèches et relativement douces.

Cette étude essaie d'examiner les relations entre les types de circulation au niveau de 500hPa en Grèce durant la saison hivernale et la circulation atmosphérique sur l'océan Atlantique oriental représentée par les indices de circulation de NAO et de EMPI.

## 1. Données et Méthodes

On utilise le calendrier des types de circulation d'hiver (décembre, janvier, février) au niveau de 500hPa concernant la Grèce pour la période 1971-2000 comprenant 12 types de circulation parmi lesquels 5 sont anticycloniques et 7 cycloniques (Anagnostopoulou *et al.*, 2009). On utilise également les valeurs journalières des deux indices de circulation qui exercent de fortes influences sur le temps et le climat de la Grèce sur la même période et pour la même saison. Il s'agit de l'indice NAO (North Atlantic Oscillation) et de l'indice EMPI (Eastern Mediterranean Pattern). Enfin, on utilise les données journalières de hauteur géopotentielle à 500hPa du modèle ECHAM5 (20C3M scénario pour le présent et A1B pour le futur) concernant la période 1971-2100. A partir de ces données on a calculé le calendrier de types de circulation mentionnés ci-dessus, en appliquant les méthodes utilisées antérieurement (périodes : 1971-2000 et 2071-2100). L'objectif de ces calculs consiste à rechercher pour le présent et pour le futur, les relations entre la circulation atmosphérique en Grèce et les téléconnexions sur l'océan Atlantique oriental, représentées par les deux indices mentionnés ci-dessus.

Les valeurs quotidiennes de NAO et de EMPI ont été divisées en 7 classes suivant le Tableau 2. Ensuite, on a produit pour l'hiver des périodes 1971-2000 et 2071-2100, les tableaux de correspondance entre, d'une part, les fréquences hivernales quotidiennes des types de circulation à 500hPa pour la Grèce et, d'autre part, les 7 classes de NAO et de EMPI, respectivement.

Par ailleurs, les coefficients de corrélation ont été calculés entre les fréquences hivernales annuelles des types de circulation et les valeurs hivernales moyennes de NAO et EMPI respectivement, et ce pour les deux périodes analysées (1971-2000 et 2071-2100).

## 2. Analyse des fréquences

Le Tableau 1 fournit les fréquences relatives des types de circulation en Grèce pour les deux périodes d'étude, 1971-2000 et 2071-2100.

**Tableau 1.** Fréquences relatives des types de circulation en Grèce pour les deux périodes d'étude : 1971-2000 et 2071-2100.

	Types													
	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnnw	Cwnw	Cwsw	Cssw	Cse	Cne	A.	C.
1971-2000	5.7	4.9	2.8	4.8	1.2	7.1	4.4	7.3	17.4	4.5	20.5	19.3	19.4	80.6
1971-2000	5.5	10.7	3.4	19.3	12.5	6.1	4.9	5.9	8.7	2.4	7.6	13.0	51.4	48.6

On constate que durant la première période 1971-2000 les fréquences des types cycloniques sont 4 fois plus élevées des fréquences anticycloniques (80.6% contre 19.4% respectivement cycloniques et anticycloniques). Au contraire, durant la période future (2071-2100) on constate qu'il y a une égalité relative des fréquences cycloniques (48.6%) et anticycloniques (51.4%).

Le Tableau 2 met en évidence tant les fréquences absolues et relatives des types de circulation en Grèce qui correspondent aux 7 différentes classes de NAO (période 1971-2000, Tableau 2a) que les fréquences absolues et relatives qui correspondent aux 7 différentes classes de EMPI (période 1971-2000, Tableau 2b).

De même le Tableau 3 met en évidence les mêmes fréquences des types de circulation qui correspondent aux 7 classes de NAO et de EMPI mais pour la période future 2071-2100.

L'examen de ces tableaux fait ressortir des résultats très intéressants : c'est ainsi que pour l'ensemble des classes des valeurs de NAO pour la période actuelle il y a une correspondance des fréquences relatives très élevée des types cycloniques (80.6%, contre 19.4% des types anticycloniques). Les pourcentages des fréquences cycloniques varient entre 77.7% (classe centrale :  $>-1 <1$ ) et 93.2% (classe  $>3$ ). La classe qui présente les fréquences absolues les plus élevées des types cycloniques est la classe centrale ( $>-1 <=1$ , 949 jours) suivie par la classe suivante des valeurs positives de NAO ( $>1 <=2$ ), 422 jours). Les types de circulation individuels qui connaissent les fréquences les plus élevées appartiennent également à la classe centrale et il s'agit des types cycloniques Cse (20.9%) et Cne (19.0%), responsables de temps froid et sec en Grèce.

Les résultats concernant la correspondance des types de circulation en Grèce par rapport aux différentes classes des valeurs de EMPI sont relativement différents : la première classe avec des valeurs de EMPI négatives présente des fréquences nulles, et la classe suivante ( $>-3 <=-2$ ) présente des fréquences faibles (11 jours). De manière similaire, la dernière classe avec des valeurs positives, présente aussi des fréquences peu élevées ( $>3$ , 4 jours). Les autres classes, à l'exception de la troisième classe ( $>-2 <=-1$ , 53.6% anticycloniques et 46.4% cycloniques), présentent de très fortes fréquences cycloniques qui varient entre 84.3% (classes  $>-1 <=1$ ) et 99.4% ( $>1 <=2$ ). La classe qui présente les fréquences les plus élevées tant pour les types cycloniques que pour les types anticycloniques est, comme pour les classes de NAO, la classe centrale (288 jours anticycloniques (15.7%) et 1542 jours cycloniques (84.3%)). De plus, les types cycloniques les plus fréquents sont les mêmes que pour l'indice NAO (Cse = 22.9% et Cne =19%). Par ailleurs, cette même classe présente les fréquences les plus élevées de tous les types cycloniques et anticycloniques.

**Tableau 2.** Répartition des jours d'hiver de la période 1971-2000 au sein des 7 classes de NAO et d'EMPI et en fonction de leur appartenance à un type de circulation anticyclonique ou cyclonique. La fréquence relative (en %) des jours anticycloniques et cycloniques et calculée pour chaque classe de NAO et d'EMPI.

Types Classes	NAO (a)				EMPI (b)			
	Anticycl.		Cyclon.		Anticycl.		Cyclon.	
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%
$<=-3$	12	11.0	97	89.0	0	0	0	0
$>-3 <=-2$	35	16.7	174	83.3	10	90.9	1	0.91
$>-2 <=-1$	66	16.8	326	83.2	224	53.6	194	46.4
$>-1 <=1$	272	22.3	949	77.7	288	15.7	1542	84.3
$>1 <=2$	96	18.5	422	81.5	2	0.6	346	99.4
$>2 <=3$	43	20.1	171	79.9	3	3.1	93	96.9
$>3$	3	6.8	41	93.2	0	0	4	100

L'analyse des fréquences concernant la période future (Tableau 3a et 3b) fait apparaître des résultats différents par rapport à ceux de la période actuelle surtout en ce qui concerne les fréquences de types de circulation qui correspondent aux différentes classes des valeurs de NAO. En effet, les fréquences relatives maximales des types cycloniques apparaissent dans la première classe (57%) mais avec des fréquences absolues très restreintes (64 jours) tandis que les fréquences relatives maximales des types anticycloniques apparaissent dans la 5<sup>ème</sup> classe ( $>1 <=2$ , 55.0%). En règle générale, aux classes avec des valeurs négatives correspond une légère majorité de types cycloniques et aux classes avec des valeurs positives correspond une légère majorité des types anticycloniques, excepté pour la 6<sup>ème</sup> classe ( $>2 <=3$ , 45.8% anticycloniques, et 54.2% cycloniques). Les fréquences des types de circulation par rapport à l'indice EMPI apparaissent relativement équivalentes aux fréquences concernant la période

actuelle, à l'exception de la classe centrale qui présente une relative égalité des types anticycloniques (52.1%) et cycloniques (47.9%) (Tableau 3).

À nouveau, la classe centrale connaît les fréquences les plus élevées mais cette fois ce sont les types anticycloniques Asw (19.0%) et Ase (12.4%) qui sont les plus fréquents.

**Tableau 3.** Répartition des jours d'hiver de la période 2071-2100 au sein des 7 classes de NAO et d'EMPI et en fonction de leur appartenance à un type de circulation anticyclonique ou cyclonique. La fréquence relative (en %) des jours anticycloniques et cycloniques est calculée pour chaque classe de NAO et d'EMPI.

Types Classes	NAO (a)				EMPI (b)			
	Anticycl.		Cyclon.		Anticycl.		Cyclon.	
	Abs	%	Abs	%	Abs	%	Abs	%
<=-3	48	42.9	64	57.1	0	0	0	0
>-3 <=-2	87	44.8	107	55.2	18	100	0	0
>-2 <=-1	186	49.3	191	50.7	314	74.2	109	25.8
>-1 <=1	654	53.0	581	47.0	934	52.1	859	47.9
>1 <=2	306	55.0	250	45.0	115	29.2	279	70.8
>2 <=3	93	45.8	110	54.2	9	11.5	69	88.5
>3	15	50.0	15	50.0	0	0	2	100

### 3. Analyse des coefficients de corrélation

L'analyse des coefficients de corrélation entre les fréquences hivernales annuelles des types de circulation et les valeurs moyennes des deux indices de téléconnexions pour l'hiver montre qu'il y a un nombre relativement restreint de coefficients de corrélation significatifs tant pour la période actuelle que pour la période future. En effet, d'après le Tableau 4, on peut constater qu'aucun coefficient de corrélation entre les types de circulation et les valeurs de NAO pour les deux périodes d'étude n'est significatif, tant pour les types individuels que pour l'ensemble des types cycloniques ou anticycloniques. Par ailleurs, parmi les coefficients de corrélation des fréquences des types de circulation avec l'indice d'EMPI on trouve pour la période actuelle, six coefficients significatifs mais à des valeurs relativement faibles. Le coefficient le plus marqué est celui avec le type anticyclonique A (-0.54). Les coefficients pour l'ensemble des types cycloniques (-0.41) et anticycloniques (0.41) sont également faibles mais significatifs. En ce qui concerne la période future, on trouve 5 coefficients significatifs dont les valeurs sont également faibles. Le coefficient le plus marqué apparaît pour le type anticyclonique A<sub>se</sub> (-0.51). Enfin, les coefficients pour l'ensemble des types cycloniques (-0.50) et anticycloniques (0.50) sont significatifs, mais faibles.

**Tableau 4.** Coefficients de corrélation entre les fréquences hivernales des types de circulation en Grèce et les valeurs moyennes hivernales de NAO et d'EMPI pour les deux périodes d'études : 1971-2000 et 2071-2100. Les valeurs en gras correspondent aux coefficients de corrélation significatif (P=0.95).

	Types													
	Anw	Ane	A	Asw	Ase	C	Cnw	Cnw	Csw	Cssw	Cse	Cne	A.	C.
<b>NAO</b> 1971- 2000	0.20	0.15	0.16	0.09	-0.22	-0.08	-0.26	0.07	-0.03	0.20	0.00	-0.12	0.09	-0.08
<b>EMPI</b> 1971- 2000	-0.12	<b>-0.36</b>	<b>-0.54</b>	-0.25	-0.07	0.28	<b>-0.52</b>	<b>-0.44</b>	<b>0.49</b>	0.24	<b>0.42</b>	-0.01	<b>-0.41</b>	<b>-0.41</b>
<b>NAO</b> 2071- 2100	0.05	0.03	0.17	-0.01	0.10	0.03	-0.07	0.02	-0.06	0.05	-0.16	-0.10	0.12	-0.12
<b>EMPI</b> 2071- 2100	0.27	<b>-0.47</b>	0.08	-0.27	<b>-0.51</b>	0.19	-0.16	-0.18	<b>0.37</b>	<b>0.44</b>	0.27	<b>0.48</b>	<b>-0.50</b>	<b>0.50</b>

## Conclusions

Ces résultats montrent clairement qu'il est très difficile de formuler des règles exactes concernant la fréquence et l'intensité des types de circulation en Grèce durant la saison hivernale en relation avec les deux indices de téléconnexions. Pourtant, on a trouvé des corrélations significatives entre les types anticycloniques et cycloniques concernant la Grèce mais uniquement avec l'indice EMPI, tant pour la période actuelle que pour la période future. L'absence de corrélations significatives des types de circulation avec l'indice NAO est, à notre avis, liée à la circulation hivernale plus zonale en Europe et en Méditerranée, car le calcul des coefficients de corrélation pour d'autres saisons montre des corrélations significatives (été, automne pour la période actuelle, printemps, automne pour la période future). L'influence des valeurs des deux indices sur l'apparition des types de circulation est relativement différente. C'est ainsi que pour la période actuelle toutes les classes de NAO s'accompagnent majoritairement avec l'apparition des fréquences des types cycloniques. Au contraire, l'influence des valeurs négatives de l'indice EMPI contribue surtout à l'apparition des types anticycloniques tandis que la classe centrale et les classes avec des valeurs positives contribuent principalement à l'apparition des types cycloniques. En ce qui concerne la période future, l'influence des valeurs positives de NAO contribue à l'apparition avec une légère majorité, des fréquences anticycloniques et au contraire, les valeurs extrêmes négatives de NAO contribuent également à l'apparition mais avec une légère majorité des fréquences de types cycloniques. Plus semblables à ceux obtenus pour la période actuelle apparaissent les résultats concernant l'influence des valeurs de l'indice EMPI sur l'apparition des fréquences des types de circulation. A savoir les fortes (légères) fréquences anticycloniques (cycloniques) correspondent aux valeurs négatives d'EMPI et au contraire les fortes (légères) fréquences cycloniques (anticycloniques) correspondent aux valeurs positives de l'indice. On peut expliquer ces résultats par l'examen des tendances des valeurs des deux indices pour les deux périodes d'études. C'est ainsi que les tendances de EMPI (documents non montrés) pour les deux périodes sont pareilles (légèrement positives non significatives) tandis que les tendances de NAO pour les deux périodes sont différentes. En effet, pour la période actuelle les valeurs présentent une stabilité relative tandis que pour la période future les tendances sont significativement positives.

Au total l'influence de l'indice d'EMPI est clairement plus forte que celle de l'indice NAO sur la circulation atmosphérique de la Grèce, résultat qui est tout à fait conforme avec la position des pôles des deux indices. En effet d'après, Hatzaki *et al.* (2007) un de deux pôles d'EMPI se trouve sur ou aux environs de la Grèce.

## Références bibliographiques

- Anagnostopoulou Ch, Tolika K, Maheras P., 2009 : Classification of circulation types: a new flexible automated approach applicable to NCEP and GCM datasets. *Theoretical and Applied Climatology*, **96**, 3-15.
- Hatzaki M, Flocas H, Asimakopoulos DN, Maheras P., 2007 : The eastern Mediterranean teleconnection pattern: identification and definition. *Int. J. Climatology*, **27**, 727-737.
- Hatzaki M, Flocas H, Giannakopoulos C.H., Maheras P., 2009 : The impact of the eastern Mediterranean teleconnection pattern at the Mediterranean climate. *J. Clim.*, **22**, 977-992.
- Maheras P., Tolika K., Anagnostopoulou Ch., Kolyva-Machera F., 2014 : Relationship between the atmospheric circulation over the Mediterranean and the teleconnections over the eastern Atlantic. *COMECAP 2014 e-book of proceedings*, **2**, 168-172.

