

# TYPES DE CONFIGURATIONS PLUVIOMÉTRIQUES SUR LE BASSIN MÉDITERRANÉEN, FORÇAGES ATMOSPHÉRIQUES ET ÉVÈNEMENTS INTENSES (1979-2013)

RAYMOND F., ULLMANN A., CAMBERLIN P.

Centre de Recherches de Climatologie, UMR6282 Biogéosciences, CNRS / Université de Bourgogne, 6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France. [florian.raymond@u-bourgogne.fr ; albin.ullmann@u-bourgogne.fr ; pierre.camberlin@u-bourgogne.fr]

**Résumé** - 6 régimes de pluie redondants et récurrents sont observés sur le bassin Méditerranéen pour la période 1979-2013 : 5 sont associés à des excédents pluvieux régionaux (sud-ouest méditerranéen, centre-nord méditerranéen, est méditerranéen, ouest méditerranéen et nord-ouest méditerranéen) et 1 à un déficit généralisé. Chacun de ces régimes pluviométriques est associé à une géographie barométrique particulière générant des vents de composante sud mais de directions différentes selon la région considérée, à l'origine des surplus de précipitations. Ces 6 régimes sont un bon indicateur de la géographie et de la probabilité d'occurrence des évènements intenses. Par exemple, le régime « ouest méditerranéen » montre des probabilités d'occurrence des précipitations journalières intenses élevées sur la partie ouest de la Péninsule Ibérique où plus de 20% des jours de pluie sont associés à des dépassements locaux de percentiles à 95%.

**Mots-clés** : bassin méditerranéen, configurations de pluie, circulations atmosphériques, évènements intenses.

**Abstract** - Typical rainfall patterns in Mediterranean basin, atmospheric circulations and extreme events (1979-2013). Six recurrent and redundant daily rainfall patterns have been extracted over the Mediterranean area from 1979 to 2013: five are associated to regional rainfall excess (South-West Mediterranean, Mid-North Mediterranean, East Mediterranean, West Mediterranean and north-west Mediterranean) and one to generalized deficit. Each rainfall pattern is associated with a typical barometric spatial configuration leading to local wind bringing moisture to the coast leading to specific local rainfall surplus. Rainfall patterns also explain a large part of the spatial characteristics and the probability of occurrence of intense events. For example, more than 20% of days of "West-Mediterranean" rainfall pattern are associated with local precipitations exceeding the 95<sup>th</sup> percentile over the west Iberian Peninsula.

**Keywords** : Mediterranean basin, rainfall patterns, atmospheric circulation, intense events.

## Introduction

Le bassin méditerranéen est une zone de transition abrupte entre le climat tropical, d'une part, et le climat tempéré des moyennes latitudes, d'autre part. Considéré par le dernier rapport du GIEC comme étant un « hot spot » du changement climatique (IPCC, 2013), le bassin méditerranéen constitue l'une des zones de la planète qui pourrait être soumise à des modifications climatiques importantes au cours du 21<sup>ème</sup> siècle. Parmi ces modifications, les précipitations sont un des enjeux majeurs pour l'ensemble du bassin méditerranéen, en termes de ressource en eau mais également en termes de risques associés aux évènements intenses (Toreti *et al.*, 2010 ; Garcia-Ruiz *et al.*, 2011). Il est alors crucial de mieux comprendre les caractéristiques spatio-temporelles des précipitations sur le bassin méditerranéen et les conditions atmosphériques associées. Cette étude présente tout d'abord une classification du champ de pluie quotidien à l'échelle de l'ensemble du bassin méditerranéen afin d'extraire les principaux types de configurations pluviométriques récurrentes et redondantes (« régimes de pluie »). L'analyse porte ensuite sur les conditions de vent et de pression associées dans la basse troposphère. L'objectif est enfin d'analyser la géographie et la dynamique des probabilités d'occurrence des évènements pluviométriques intenses à l'échelle de l'ensemble du bassin méditerranéen.

## 1. Données et méthode

### 1.1. Données pluviométriques

Les données de précipitations quotidiennes E-obs de l'ECA&D (European Climate Assessment & Dataset) sont utilisées pour mener cette étude (version 10.0). Ces données en points de grille à haute résolution spatiale (0,25°) sont issues de l'interpolation de séries d'observation provenant de 2316 stations météorologiques réparties sur l'Europe, le Proche-

Orient et l'Afrique du Nord (Haylock *et al.*, 2008). Elles sont extraites de 10°O à 40°E et de 28°N à 46°N sur la période 1979 à 2013 et pour la période de septembre à avril (appelée « saison » par la suite), afin d'exclure l'été qui n'enregistre que très peu d'événements pluvieux intenses. De nombreux points de grille de la base de données E-obs, principalement situés au Proche-Orient et en Afrique du Nord, possèdent des séries de données incomplètes. Le faible nombre de stations météorologiques rencontrées sur ces deux régions en est la cause principale (Brunet *et al.*, 2014). Les points de grilles se trouvant sur la mer et ceux montrant un manque de données sur au moins une saison complète sont exclus de l'analyse.

### **1.2. Données atmosphériques**

Les données de pression de surface (résolution de 0,25°) et de vent à 10m ( $u_{10}$  et  $v_{10}$ , résolution de 1,5°) issues des réanalyses ERA-INTERIM sont utilisées pour étudier les conditions atmosphériques des différentes configurations de pluie du bassin méditerranéen. Ces données, croisant des séries issues de l'observation directe, indirecte et de la modélisation du climat (Dee *et al.*, 2011), proviennent de l'ECMWF (European Center for Medium range Weather Forecasting) et sont extraites de 50°O à 50°E et de 20°N à 90°N pour les 34 saisons observées sur la période 1979-2013.

### **1.3. Méthode : classification en types de configurations pluviométriques**

Le champ de pluie quotidien est tout d'abord standardisé afin de donner le même poids à chaque point de grille. Une ACP (Analyse en Composantes Principales) est ensuite appliquée afin de ne conserver que les composantes principales comptant pour plus de 90% de la variance totale. L'ACP est réalisée sans rotation varimax afin de maximiser la variance locale. L'algorithme de classification par nuée dynamique *K-means* (Diday et Simon, 1976) est ensuite appliqué sur ces composantes principales afin d'extraire 6 configurations de pluie typiques récurrentes à l'échelle du bassin méditerranéen. Plusieurs tests de classification ont été réalisés portant sur un nombre de classe allant de 2 à 10 classes. Pour un nombre de classe inférieur à 6, certaines des caractéristiques spatiales de la pluviométrie méditerranéenne ne sont pas visibles. Pour un nombre de classe supérieur à 6, au moins deux classes montrent des informations redondantes. Pour l'espace et la période analysée dans notre étude, le choix de 6 classes offre donc la meilleure partition.

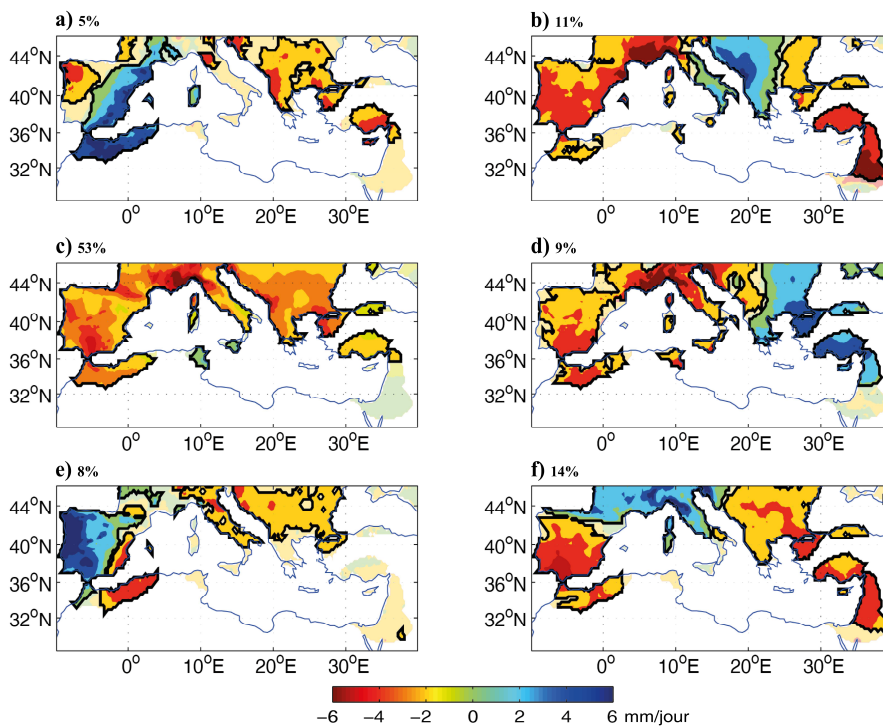
## **2. Résultats**

### **2.1. Types de configuration pluviométrique du bassin méditerranéen**

Les 6 types de configurations du champ de pluie quotidien les plus récurrentes se différencient très nettement dans l'espace (figure 1). Le type « sud-ouest méditerranéen », représentant 5% des 8228 jours étudiés, est caractérisé par des anomalies positives de précipitation sur la côte méditerranéenne de l'Espagne, sur le nord du Maroc et sur le nord-est de l'Algérie (figure 1a). Le type « sud-ouest méditerranéen » indique également des déficits pluviométriques sur la partie ouest/nord-ouest de la Péninsule Ibérique, sur la région de Livourne en Italie, sur la grande majorité des Balkans ainsi que sur l'Anatolie. Le type « centre-nord méditerranéen » (figure 1b), présent dans 11% des cas, montre des anomalies de précipitation positives sur la région des Balkans et sur la moitié sud de l'Italie (figure 1b). A l'inverse, un déficit de précipitation est observé sur le nord de l'Italie, la France, la Péninsule Ibérique ainsi que sur le Proche-Orient. Le type « déficit généralisé » (figure 1c) est le plus fréquent, représentant à lui seul 53% des jours étudiés. Il correspond à des jours secs ou très peu arrosés sur presque l'ensemble du bassin méditerranéen (figure 1c). Seules la Sicile et la Tunisie ne montrent pas de déficit de pluie durant ces jours (figure 1c). Le type « est-

méditerranéen » (figure 1d), présent dans 9% des cas, montre des anomalies positives de précipitation sur les parties est/sud-est des Balkans et sur le Proche-Orient, le reste du bassin méditerranéen montrant des anomalies négatives. Le type « ouest-méditerranéen » (figure 1e), regroupant des configurations présentes dans 8% des cas, est caractérisé par des anomalies positives de précipitation sur la partie ouest de la Péninsule Ibérique. Des anomalies négatives sont présentes sur la côte est de l'Espagne, le nord de l'Algérie, l'Italie et les Balkans (figure 1e). Ce régime de pluie est davantage influencé par des dynamiques atlantiques plus que méditerranéennes. Enfin, le type « nord-ouest méditerranéen » (figure 1f) présent dans 14% des cas, montre des anomalies positives de précipitation en France, sur le centre et le nord de l'Italie et en Slovénie. A l'inverse, la quasi-totalité de la Péninsule Ibérique montre des anomalies négatives, tout comme le nord du Maroc et de l'Algérie, les Balkans et le Proche-Orient (figure 1f).

En termes de variabilité temporelle de la fréquence saisonnière du nombre de jours des différents régimes de pluie, seul le type « sud-ouest méditerranéen » montre une augmentation significative ( $p > 95\%$ ), avec +0,3537 jour par saison, soit environ +12 jours en 34 ans. S'agissant d'une configuration présente en moyenne 12 jours par saison, cette augmentation indique une tendance importante vers un surplus de pluie sur la côte méditerranéenne de l'Espagne, sur le nord du Maroc et sur le nord-est de l'Algérie pour la période de septembre à avril. Le type « ouest méditerranéen » montre également une légère augmentation de son nombre de jours par saison, mais non significative. Les autres régimes de pluie montrent à l'inverse une légère diminution non significative de leur nombre de jours par saison.

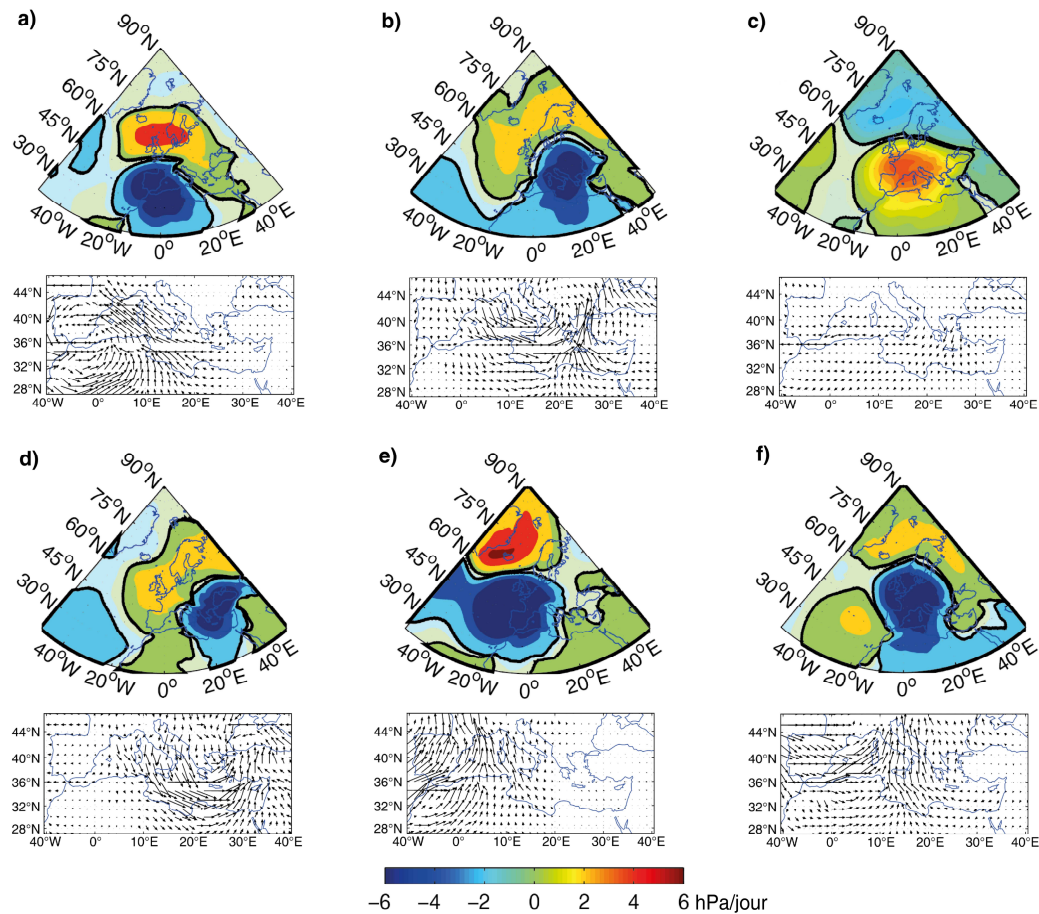


**Figure 1.** Anomalies moyennes de précipitations quotidiennes (en mm/jour) pour les 6 régimes de pluie (a,b,c,d,e et f) pour la période 1979-2013. En pourcentage : la fréquence de chacune des 6 classes est indiquée (en % des 8228 jours étudiés). En couleurs vives sont indiquées les anomalies significatives > 95% d'après le Test de Student.

## 2.2 Conditions atmosphériques des régimes de pluie du bassin méditerranéen

Le régime de pluie « sud-ouest méditerranéen » est associé à une anomalie de pression négative sur la Péninsule Ibérique et les côtes nord du Maghreb (figure 2a). Cette anomalie de pression va générer des anomalies de vents antihoraires de secteur nord-ouest sur le Maroc,

provenant de l'Océan Atlantique, et de sud-est en Méditerranée occidentale, amenant de l'humidité au contact du relief nord-maghrébin et des côtes méditerranéennes espagnoles (figure 2a). Les surplus de pluie du type « centre-nord méditerranéen » sont associés à une anomalie négative de pression sur l'Italie et les Balkans (figure 2b). Cette anomalie de pression va entraîner des anomalies de vents de sud-ouest et sud-est amenant de l'humidité car remontant sur la Méditerranée puis rencontrant les reliefs ouest des Balkans (figure 2b). Le régime « déficit généralisé » est associé à une anomalie de pression positive centrée sur la France (figure 2c). Cette anomalie de pression va générer de faibles anomalies de vents, n'apportant pas d'humidité sur le bassin méditerranéen, mis à part dans certains cas sur la Sicile et sur la Tunisie (figure 2c). Le régime « est-méditerranéen » est associé à une anomalie de pression négative située sur la partie est des Balkans et sur l'Anatolie (figure 2d). Cette anomalie de pression va entraîner des anomalies de vents antihoraires d'ouest passant sur la Méditerranée et remontant en direction des côtes est méditerranéennes, apportant de l'humidité (figure 2d). Les surplus de pluie du type « ouest-méditerranéen » sont associés à une anomalie négative de pression sur les côtes ouest européennes (figure 2e). Cette anomalie de pression va générer des anomalies de vents de sud-ouest sur l'Océan Atlantique et apportant de l'humidité au contact des côtes ouest de la Péninsule Ibérique (figure 2e). Enfin, le régime « Nord-ouest méditerranéen » est associé à une anomalie de pression négative sur le centre de l'Europe (figure 2f). Cette anomalie de pression va entraîner des anomalies de vents de sud à sud-ouest, remontant sur la Méditerranée et amenant de l'humidité au contact des côtes du Golfe du Lion, du Golfe de Gênes et du Golfe de Venise (figure 2f).

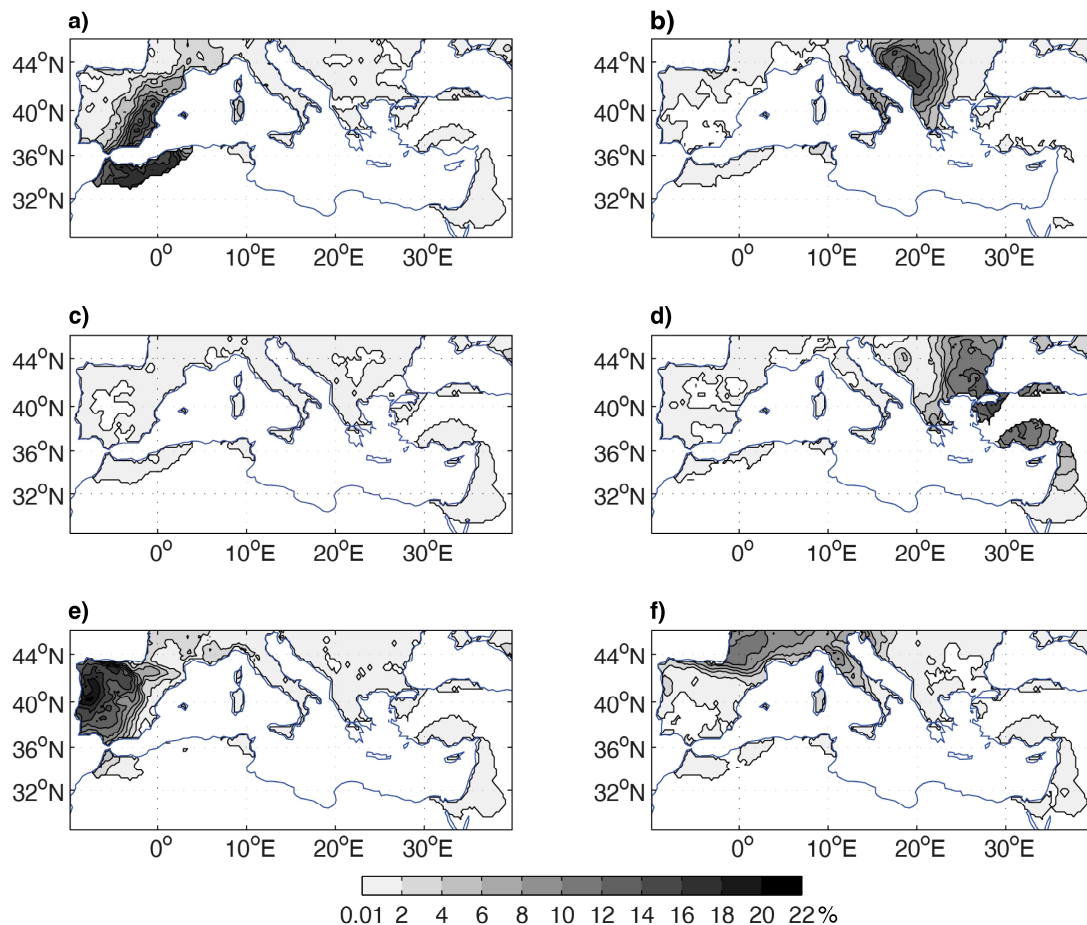


**Figure 2.** Anomalies moyennes de pression (hPa) et de vent ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) des jours des 6 régimes de pluie (a,b,c,d,e et f) sur la période 1979-2013. Les anomalies de pressions significatives au seuil > 95% d'après le Test de Student sont indiquées en couleurs vives.

### 2.3. Régimes de pluie et précipitations intenses

La figure 3 montre l'occurrence des événements de précipitations intenses associés aux différents régimes de pluie. Pour un point de grille considéré, les événements de précipitations intenses sont définis comme étant les jours humides dépassant le percentile 95% de ce point de grille. Cette méthode permet une définition locale de l'évènement intense fondée sur la distribution locale des précipitations, et donc de vérifier que les configurations types qui ont été identifiées ont une pertinence pour décrire localement les événements pluvieux intenses.

Le régime de pluie « ouest-méditerranéen » montre une fréquence maximale d'occurrence des précipitations intenses proche de 20% (figure 3a). Le régime « centre-nord méditerranéen » montre une fréquence maximale d'occurrence comprise entre 14 et 16% (figure 3b). Le régime de pluie « déficit généralisé » montre lui une fréquence d'occurrence des précipitations intenses très faible, ne dépassant pas les 2% (figure 3c), ce qui est logique d'après les résultats observés en amont. Le régime « est méditerranéen » montre une fréquence maximale d'occurrence proche de 16% (figure 3d). Le régime de pluie « ouest méditerranéen » montre une fréquence d'occurrence des précipitations intenses la plus élevée, dépassant les 20% (figure 3e). Enfin, le régime « nord-ouest méditerranéen » montre une fréquence maximale d'occurrence des phénomènes extrêmes inférieure à 12%. Les anomalies moyennes des précipitations des 6 régimes de pluie donnent alors une bonne indication sur la probabilité d'occurrence des phénomènes de pluies intenses à l'échelle du bassin méditerranéen. Il est cependant important de noter que certains événements extrêmes localisés ne sont pas associés au régime de pluie caractéristique de la zone concernée.



**Figure 3.** Probabilité (en %) qu'un évènement de précipitations intenses (supérieur au percentile 95) se produise, pour chacune des 6 classes obtenues en amont, pour les 4343 points de grille étudiés.

## Conclusion

Cette étude permet de comprendre un peu mieux les caractéristiques spatio-temporelles des précipitations et les conditions atmosphériques associées, sur le bassin méditerranéen. Dans un premier temps, il est montré les principaux types de configurations spatiales récurrentes et redondantes des précipitations à l'échelle de l'ensemble du bassin méditerranéen. 6 régimes de pluie sont observés à l'échelle du bassin. Parmi eux, 5 mettent en avant des précipitations localisées sur des secteurs précis, le régime « déficit généralisé » regroupant quant à lui les jours sans précipitations ou les jours avec des événements très localisés. Dans un second temps, les circulations atmosphériques aux larges échelles, situées dans les basses couches et étant à l'origine de ces régimes de pluie, sont observées. Les 5 régimes de pluie mettant en avant des précipitations localisées montrent une anomalie de pression négative, engendrant des anomalies de vents à composante sud, mais de direction variée selon les régions considérées, qui génèrent ces surplus d'humidité. L'occurrence des événements de précipitations intenses associés aux différents régimes de pluie est ensuite observée. Il est important de repérer les types de circulations atmosphériques associées aux phénomènes extrêmes et de connaître la probabilité d'occurrence de ces événements. En effet, il s'agira ensuite de tenter de mettre en avant l'évolution spatio-temporelle d'occurrence de ces phénomènes extrêmes sur le bassin méditerranéen à l'horizon 2100. Pour cela, les modèles climatiques CMIP5 seront mis à contribution.

## Références bibliographiques

- Brunet M., Gilabert A., Jones P., 2014 : A historical surface climate dataset from station observations in Mediterranean North Africa and Middle East areas. *Geoscience Data Journal*, **1**, 121-128.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Poli P., Kobayashi S., Andrae U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.J., Park B.K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.N., Vitart F., 2011 : The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **137**, 553-597.
- Diday E, Simon J.C. 1976 : Clustering analysis. *Commun. Cybern.*, **10**, 47-49.
- Garcia-Ruiz J.M., López-Moreno J.I., Vicente-Serrano S.M., Lasanta-Martínez T., Beguería S., 2011 : Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews*, **105**, 121-139.
- Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M., 2008 : A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal of Geophysical Research*, **113**, D20119.
- IPCC, 2013 : *Climate Change 2013. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New-York, NY, USA, 1535 p.
- Toreti A., Xoplaki E., Maraun D., Kuglitsch F.G., Wanner H., Luterbacher J., 2010 : Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 1037-1050.