



HAL
open science

Conditions atmosphériques des précipitations intenses dans le Bassin méditerranéen : variabilité contemporaine et future (1979-2100).

Albin Ullmann, Florian Raymond

► **To cite this version:**

Albin Ullmann, Florian Raymond. Conditions atmosphériques des précipitations intenses dans le Bassin méditerranéen : variabilité contemporaine et future (1979-2100).. Méditerranée: revue géographique des pays méditerranéens, 2017, 128, pp.9-17. 10.4000/mediterranee.8521 . hal-03437105

HAL Id: hal-03437105

<https://hal.science/hal-03437105>

Submitted on 8 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONDITIONS ATMOSPHERIQUES DES PRECIPITATIONS INTENSES DANS LE BASSIN MEDITERRANEEN : VARIABILITE CONTEMPORAINE ET FUTURE (1979-2100)

ATMOSPHERIC CONDITIONS OF EXTREME PRECIPITATIONS IN THE MEDITERRANEAN BASIN: PRESENT-DAY AND FUTURE VARIABILITY (1979-2100)

ULLMANN A.¹, RAYMOND F.¹

¹ Centre de Recherche de Climatologie, BIOGEOSCIENCES UMR 6282 CNRS, Université de Bourgogne, Dijon.

Résumé – Huit configurations hivernales typiques et récurrentes de pluviométrie intense ont été extraites à l'échelle du bassin méditerranéen. Elles montrent une structuration spatiale des pluies intenses autour des principaux reliefs et des différents sous bassins qui composent la Méditerranée. Les pluies intenses sont associées à des dépressions localisées. La dynamique atmosphérique large-échelle explique en partie la formation de ces forçages locaux des pluies intenses. En effet, la fréquence des régimes de circulation atmosphérique « Greenland Above » (« Atlantic Ridge ») explique en partie l'occurrence des pluies intenses dans le Golfe du Lion et l'Adriatique (autour de la Mer Egée). Le changement climatique ne devrait pas modifier la fréquence de ces deux régimes de circulation. En revanche, des changements dans leur configuration barométrique moyenne devraient renforcer leur relation respective avec les pluies intenses en Méditerranée. En d'autres termes, la fréquence des pluies intenses en Méditerranée ne devrait pas devenir plus importante au cours du 21^{ème} siècle, mais lorsque les événements se produiront durant ces deux régimes de circulation, ils devraient être de plus en plus intenses.

Mots-Clés : Méditerranée, pluies intenses, régime de circulation atmosphérique, changement climatique

Abstract - Eight wintertime extreme rainfall patterns have been computed over the whole Mediterranean basin. Extreme rainfalls are typically organized around the main sub-basin and are linked with orographic characteristics. Local atmospheric forcing of extreme rainfalls is mainly characterized by intra-Mediterranean cyclogenesis. Nevertheless, large-scale atmospheric circulation can partly explain the occurrence of some Mediterranean extreme rainfall events. For example, the frequency of "Greenland above" ("Atlantic Ridge") weather regime explains parts of the occurrence of extreme rainfall events in the Gulf of Lions and in the Adriatic Sea (around Egerian Sea). Climate change would not change the wintertime frequency of these two weather regimes. Nevertheless, changes in mean barometric conditions within these weather regimes would increase the relationship with extreme rainfalls in the Mediterranean basin. In other words, extreme rainfalls would not become more frequent in the 21st century but events that would occur during "Greenland above" and "Atlantic Ridge" weather regimes could become more intense.

Keywords: Mediterranean extreme rainfall, weather regimes, climate change

Introduction

Le bassin Méditerranéen est une zone de transition abrupte entre le climat tropical et le climat des moyennes latitudes. Les échanges énergétiques intenses combinés à ses conditions géographiques particulières (mer semi fermée, forts reliefs et côtes disséquées aux multiples orientations) soumettent le bassin méditerranéen à des épisodes climatiques intenses. L'IPCC en a d'ailleurs fait un « hot spot » du changement climatique (IPCC, 2014). Les précipitations intenses dans le bassin méditerranéen sont des événements particulièrement importants car les caractéristiques géographiques du bassin méditerranéen, notamment les reliefs abrupts, favorisent la formation d'inondations très rapides (« flash floods »), particulièrement sensibles aux exutoires des principaux cours d'eau, au niveau des zones littorales, là où se concentrent les populations et les activités. De nombreux auteurs ont montré que les précipitations intenses sont souvent associées à une cyclogenèse intra-méditerranéenne. Cependant, le climat est un système multi-scalaire dynamique et dans le contexte du changement climatique, des modifications large-échelles sont susceptibles d'affecter les pluies intenses en Méditerranée. Ce travail a pour objectif d'appréhender comment les modes de variabilité atmosphérique de large échelle sont connectés aux caractéristiques spatio-temporelles des pluies intenses à l'échelle du bassin méditerranéen. Par ailleurs, la modélisation numérique des pluies intenses, surtout en méditerranée, est encore imparfaite. L'étude des liens entre la

dynamique atmosphérique large-échelle et les pluies intenses dans le bassin méditerranéen permet donc également de combler en partie le hiatus encore existant entre l'échelle de la simulation numérique et l'échelle des pluies intenses. Ainsi, cette étude propose d'analyser la variabilité future des forçages atmosphériques de large-échelle associés aux pluies intenses en Méditerranéen pour différents scénarios du changement climatique. Les données et méthodes seront présentées dans une première partie. La classification des pluies intenses en « configurations de pluviométrie intense » sera présentée en deuxième partie afin d'analyser les caractéristique spatio-temporelle des pluies intenses à l'échelle de l'ensemble du bassin méditerranéen pour la période de septembre à avril de 1979 à 2014. Dans une troisième partie, les liens entre la dynamique atmosphérique large échelle et les pluies intenses à l'échelle du bassin méditerranéen seront étudiés. Enfin, la dernière partie présentera l'évolution future de ces forçages atmosphériques de large échelle selon le scénario médian et pessimiste du changement climatique.

1. Données et méthodes

Les précipitations dans le bassin méditerranéen se produisent principalement durant l'automne et l'hiver. Les données utilisées et les analyses réalisées se concentrent sur la période de septembre à mars uniquement.

1.1. Données

Les données de précipitations sont issues de la base E-obs de l'ECA&D. Il s'agit de données quotidiennes en points de grille (0.5°) de 1979 à 2014 (période de septembre à avril) provenant de mesures de stations et de l'interpolation spatiale en cas d'absence de mesures.

Les analyses diagnostiques sont réalisées avec les pressions atmosphériques de surface issues des réanalyses ERA-Interim de l'ECMWF. Il s'agit de données quotidiennes en points de grille (0.5°) de 1979 à 2014. Les données de modélisation numérique du climat (période historique et future) utilisées sont les pressions atmosphériques de surface issues des simulations du programme CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project). Les simulations historiques sont réalisées sur la période 1950-2006 avec comme forçage radiatif l'évolution observée de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre. Pour le futur (2006-2100), les scénarios RCP4.5 (médian) et RCP8.5 (pessimiste) seront utilisés (Wise *et al.* 2009). Comme les différentes institutions du projet offrent parfois plusieurs simulations faites avec différents modèles, nous avons décidé de ne conserver qu'un seul modèle par institution afin d'analyser un « pool » de simulation les plus indépendantes possibles (Pennell and Reichler, 2011). De ce fait, l'approche, nous avons opté pour l'approche « one model one vote » afin que chaque modèle et chaque institution aient le même poids dans les analyses (Santer *et al.*, 2009 ; Monerie *et al.*, 2013 ; Ullmann *et al.*, 2014). Au total, 15 modèles (une expérience simulation par modèle) sont conservés pour ce travail (table 1).

Table 1. Les modèles CMIP5 utilisés dans cette étude.

1.2. Méthodes

Le champ de pluie a tout d'abord été transformé en une matrice binaire (temps en ligne et espace en colonne). Pour chaque point de grille : 1 = les jours où les précipitations > percentile à 90% ; 0= les jours où les précipitations < percentile à 90%. Cette matrice binaire est ensuite classée par la méthode des nuées dynamiques ou « K-means » (Diday et Simon,

1976) qui permet d'extraire 8 configurations typiques et récurrentes des précipitations intenses à l'échelle de l'ensemble du bassin méditerranéen. Les champs de pression atmosphérique observés et simulés ont également été classés par la méthode des « k-means » afin d'extraire 4 régimes de circulation atmosphérique sur l'Atlantique nord et l'Europe sur la période 1979 - 2100 (Cassou, 2001 ; Ullmann *et al.*, 2014).

2. Configurations de pluviométrie intense et conditions atmosphériques

Les pluies intenses en méditerranée s'organisent selon 8 configurations spatiales typiques. Les deux premières montrent des événements concentrés autour de la mer d'Alboran sur la partie espagnole et Marocaine (ALB Med, figure 1a) et sur le pourtour du Golfe du Lion (GL Med, figure 1b). Les deux configurations suivantes s'organisent de part et d'autre de l'Italie : précipitations intenses concentrées sur le littoral est de la Mer Adriatique (ADR Med, figure 1c) et concentrées autour de la mer Tyrrhénienne, dans le Golfe de Gêne et les reliefs des Apennins (TYR Med, figure 1d). Une configuration typique des pluies intenses en Méditerranée montre également des événements concentrés sur le pourtour de la Mer Egée (EG Med, figure 1e) et autour du bassin Levantin (LEV Med, figure, 1h). Noter également une configuration pluviométrique montrant une absence d'événements intenses (Def Med, figure 1g) et une configuration associée à des pluies concentrées sur les principaux reliefs qui bordent le nord-ouest de la méditerranée (Alpes et Pyrénées) et qui ne sont donc pas des événements strictement méditerranéens (ATL Med, figure 1f).

Figure 1. Huit configurations de pluviométrie intense dans le bassin méditerranéen. En grisée les secteurs pour lesquels le percentile à 90% de pluie quotidienne est dépassé.

La figure 2 présente la pression de surface moyenne de chaque configuration de pluviométrie intense du bassin méditerranéen. La plupart des pluies intenses semblent associées à des centres dépressionnaires intra-bassin. Cependant, ces conditions atmosphériques ne sont pas déconnectées de la dynamique atmosphérique large-échelle. En effet, les conditions atmosphériques intra-méditerranéennes lors des événements de pluie intense semblent associées à des décalages méridionaux des principaux rails des perturbations tempérées de l'Atlantique nord, notamment pour les pluies dans le Golfe du Lion (figure 2b), ou bien à des talwegs de large-échelle pour les pluies intenses au niveau des abords de la Mer Egée et Tyrrhénienne (figure 2d et 2e).

Figure 2. Pressions de surface moyennes (hPa) des jours de chaque configuration de pluviométrie intense de 1979 à 2014.

3. Régime de circulation atmosphérique et pluies intenses en Méditerranée

Les régimes de circulation correspondent à des configurations barométriques large-échelle, stationnaires de 3 à 10 jours (Ullmann et Moron, 2008) et qui apparaissent de façon récurrente. Il s'agit ici de synthétiser la dynamique atmosphérique sur l'Atlantique nord et l'Europe en 4 grandes géographies barométriques typiques. La première partage des éléments communs avec la phase négative de l'oscillation nord-atlantique et présente une dépression centrée sur l'Atlantique au niveau de 50°N (figure 3a). Cette circulation favorise le passage des perturbations synoptiques sur l'Europe avec des trajectoires plus méridionales que la normale (Cassou, 2004 ; Ullmann *et al.*, 2014). Ce type de temps est appelé « Greenland Above » (GA) (Plaut et Simonnet, 2001). Le deuxième régime de circulation (figure 3b) est appelé « East-Atlantic » (Ullmann *et al.*, 2014) et présente des pressions anormalement élevées sur le continent européen. Le troisième régime montre une circulation atmosphérique

proche de la moyenne mais avec une vitesse renforcée (figure 3c). Cette configuration montre des similitudes avec la phase positive de l'oscillation nord-atlantique est appelé « NAO+ » (Ullmann *et al.*, 2014). Le dernier régime de circulation montre une dépression d'Islande renforcée et décalée vers la Scandinavie et une faible crête sur l'Atlantique (figure 3d). Ce régime est appelé « Atlantic Ridge » en référence au nom donné dans des travaux précédents (Moron et Plaut, 2003).

Figure 3. Pression de surface moyenne (hPa) des jours de chaque régime de circulation de 1979 à 2014.

Les anomalies de fréquence mensuelle des jours de chaque configuration de pluviométrie intense ont été calculées par classe d'anomalie de fréquence mensuelle des jours de régime de circulation. Seuls les résultats significatifs par un test de Student sont présentés ici. La figure 5 montre que plus la fréquence des jours de GA augmente, plus la fréquence des jours de pluie intenses dans le Golfe du Lion augmente (figure 5a) et plus les jours de pluies intenses sur la côte est de l'Adriatique sont nombreux (figure 5b). Le régime de circulation GA favorise le passage des perturbations tempérées plus au sud que la normale qui peuvent alors transiter sur le bassin occidental de la Méditerranéen (Ullmann *et al.*, 2014). La figure 5c montre que plus la fréquence mensuelle des jours de régime de circulation AR augmente, plus l'occurrence des pluies intenses autour de la Mer Egée devient importante. La configuration barométrique de ce régime de circulation, notamment la dépression centrée sur la Scandinavie va favoriser un fort flux de secteur ouest à sud-ouest sur la Méditerranée centrale pouvant pousser la masser d'air vers les côtes et reliefs qui bordent la Mer Egée (Ullmann *et al.*, 2014). Il semble donc que la fréquence des régimes de circulation explique en partie l'occurrence des pluies intenses dans le bassin méditerranéen témoignant des interactions entre la dynamique atmosphérique large échelle et les forçages aux échelles plus fines, notamment intra-Méditerranéen.

Figure 4. Anomalie de fréquence mensuelle (en %) de (a) GL Med, (b) ADR Med et (c) EG Med) par classe d'anomalie de fréquence mensuelle des 4 régimes de circulation.

4. Régimes de circulation dans les modèles CMIP5

4.1. La période historique (1979-2005)

Quatre régimes de circulation ont été calculés à partir des pressions de surface pour les 15 expériences de simulation des 15 modèles disponibles. La figure 5 présente la pression atmosphérique moyenne de ces 4 régimes de circulation (moyenne multi-modèle). Pour chacun des 4 régimes de circulation obtenus, la pression atmosphérique moyenne est presque similaire à celle des régimes de circulation observés (figure 3 et 5). Aucun décalage des principaux centres d'actions n'est observé entre les régimes observés et simulés (figure 3 et 5).

Figure 5. Pressions de surface moyennes (hPa) des jours de chaque régime de circulation de 1979 à 2006 (moyenne multi-modèle, scénario historique).

La figure 6 présente le diagramme de Taylor qui permet d'analyser les performances individuelles des modèles en termes capacité à reproduire les régimes de circulation observés. Cette représentation synthétise l'inter-comparaison entre les caractéristiques spatio-temporelles des régimes de circulation observées et simulées via l'analyse de la corrélation spatiale (lignes tiretées), de l'écart-type (lignes en pointillées) et de l'erreur quadratique moyenne (lignes tiretées incurvées). Pour chaque modèle, les corrélations spatiales entre les régimes de circulation observés et simulés sont toujours supérieures à 0.8 (figure 6). Pour les

4 régimes de circulation, tous les modèles montrent également de faibles biais en termes d'erreurs quadratiques moyennes et d'écart-type (figure 6). En résumé, sur la période historique de 1979 à 2006, les 4 régimes de circulation simulés par les 15 modèles sont significativement corrélés avec ceux observés avec de faibles biais. Ces résultats confirment ceux montrés dans d'autres travaux (Ullmann *et al.*, 2014) et confirment que les modèles globaux du climat sont généralement capables de simuler de façon robuste les modes de variabilité atmosphérique de large-échelle.

Figure 6. Diagramme de Taylor des champs de pression moyens de chaque type de circulation pour les 15 modèles individuels (1979-2006)

4.2. Le 21^{ème} siècle (2006-2100)

La figure 7 montre les anomalies (scenario RCP – historique) annuelles moyennes (moyenne multi-modèle) de la fréquence des 4 régimes de circulation de 2006 à 2100. Une variabilité multi-décennale peut être observée pour chaque régime. Cette variabilité lente pourrait être attribuée à l'influence de la variabilité décennale des grands modes de variabilité de la température de surface de la mer. Moron et Plaut (2003) ont par exemple montré l'influence de l'El Nino Southern Oscillation (ENSO) sur l'occurrence des régimes de circulation du domaine Nord-Atlantique. Hormis cette variabilité multi-décennale, la fréquence des régimes de circulation ne montre aucune tendance significative que ce soit pour le scénario médian ou pessimiste (figure 7). Il semblerait donc que le changement climatique pourrait ne pas modifier la fréquence d'apparition des régimes de circulation sur le domaine nord Atlantique et européen au cours du 21^{ème} siècle.

Figure 7. Anomalies annuelles de fréquence (moyenne multi-modèle) des types de circulation. (RCP4.5-historique) trait fin et (RCP8.5-historique) en gras.

Afin d'investiguer comment le changement climatique globale pourrait impacter les précipitations intenses en Méditerranée, la figure 8 montre les tendances des anomalies de pression atmosphérique de surface annuelle moyenne (RCP – historique) au sein de chaque régime de circulation. Autrement dit, cette approche permet d'appréhender les possibles changements « intra-classe » au sein de chaque régime de circulation. Pour chaque scénario, les tendances sont présentées (i) pour l'ensemble du 21^{ème} siècle et (ii) pour la première (2006-2050) et (iii) la deuxième (2050-2100) moitié du 21^{ème} siècle (figure 8). Les résultats sont présentés pour les deux régimes de circulation significativement liés aux pluies intenses en Méditerranéen, c'est-à-dire GA et AR. Durant les jours de GA, les tendances montrent une extension vers le sud-est du pôle de basse pression sur l'Atlantique (figure 8). Ces tendances sont significatives pour le scénario médian et pessimiste avec cependant une accélération dans la deuxième moitié du 21^{ème} siècle et pour le scénario pessimiste (figure 8). Ces résultats sont cohérents avec d'autres travaux montrant un décalage vers l'est des principaux pôles de l'oscillation nord-atlantique sous l'effet de l'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre (Ulbrich et Christoph, 1999 ; Dong *et al.*, 2011). Ce décalage vers le sud-est du centre de basse pression Atlantique devrait favoriser la propagation des perturbations plus au sud-est qu'actuellement ce qui devrait renforcer l'occurrence des pluies intenses dans le nord-ouest du bassin méditerranéen durant ce régime de circulation (figure 4 section 4.1; Ullmann *et al.*, 2014). Pour AR, les hautes pressions subtropicales pourraient significativement se renforcer, surtout pour le scénario RCP8.5 (figure 8). Par ailleurs, les basses pressions scandinaves pourraient se creuser significativement au cours du 21^{ème} siècle (figure 8). Cette évolution devrait intensifier le gradient barométrique entre la Scandinavie et les Açores et donc accélérer le flux atmosphérique typique de ce régime de circulation. Le

régime de circulation AR devrait donc devenir de plus en plus pluvieux là où il l'est déjà, c'est-à-dire au niveau de la mer Egée (figure 4, section 4.1). Pour résumer, les modèles du climat ne prévoient pas d'augmentation de la fréquence des régimes de circulation. En revanche des changements dans les caractéristiques moyennes des régimes GA et AR devraient renforcer leur relation respective avec la géographie des pluies intenses en Méditerranée et augmenter l'intensité de ces pluies intenses lorsqu'un événement se produit.

Figure 8. Tendances des anomalies moyennes de pression de surface (en hPa / an) pour (a) le régime de circulation GA et (b) le régime de circulation AR. Scénario RCP8.5-historique (RCP4.5-historique) en première (deuxième) ligne, pour l'ensemble de la période 2006-2100 et pour deux sous-périodes (2006-2050 et 2050-2100).

Conclusion

Les événements de pluie intense en méditerranée peuvent se structurer en 8 configurations spatiales typiques et récurrentes qui correspondent aux principaux reliefs et aux grands sous-bassins de la Méditerranée. Ces configurations spatiales de pluviométrie intenses sont associées à des dépressions intra-bassin dont la localisation détermine la géographie de ces événements. Cependant, ces conditions d'échelle régionale sont liées à la dynamique atmosphérique large échelle sur l'Atlantique Nord et l'Europe. En effet, les régimes de circulation atmosphérique permettent d'expliquer en partie les caractéristiques spatio-temporelles des pluies intenses à l'échelle de l'ensemble de la méditerranée. C'est notamment le cas entre le régime de circulation GA (AR) et les pluies intenses dans le Golfe du Lion et dans le secteur adriatique (autour de la Mer Egée). Ces modes de variabilité atmosphérique large échelle étant bien simulés par les modèles numériques du climat, les régimes de circulation peuvent constituer un bon indicateur pour appréhender une partie de la variabilité future des pluies intenses en Méditerranée. Pour le scénario médian et pessimiste du changement climatique, la fréquence des jours de régime de circulation GA et AR ne devraient pas augmenter d'ici à la fin du 21^{ème} siècle. En revanche, des changements de conditions barométriques moyennes au sein des régimes de circulation GA et AR devraient renforcer la relation existante entre la fréquence de ces régimes de circulation et la fréquence des pluies intenses. Autrement dit, ces deux régimes de circulation atmosphériques devraient devenir de plus en plus pluvieux. Pour résumer, la fréquence des pluies intenses en Méditerranée ne devrait pas devenir plus importante au cours du 21^{ème} siècle, mais lorsqu'un événement se produira dans le Golfe du Lion ou en Adriatique durant un régime de circulation GA ou AR il devrait être de plus en plus intense.

Bibliographie

- Cassou C., (2004), du changement climatique aux régimes de temps. *Météorologie*, **45**, 21-32.
- Diday E, Simon J.C, (1976), Clustering analysis. *Communication in Cybernetic*, **10**, 47-49.
- Dong B., Sutton RT, Woolings T., (2011), Changes of interannual NAO variability in response to greenhouse gases forcing. *Climate dynamics*, **37**: 1621-1641.
- IPCC, (2014), Climate Change 2014: synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth Assessment Report of the IPCC. L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Monerie P-A, Roucou P, Fontaine B., (2013), Mid-century effects of climate change on African monsoon dynamics using the A1B emission scenario. *International Journal of Climatology*, **33**: 881-896.
- Moron V., Plaut G, (2003), The impact of El Niño southern Oscillation upon weather regimes over Europe and the North Atlantic during boreal winter. *International Journal of Climatology*, **23**, 363-379.
- Pennell C, Reichler T., (2011), On the effective number of climate models. *J. Climate* **24**: 2358-2367.

- Plaut E, Simonnet E, (2001), Large-scale circulation classification, weather regimes and local climate over France, the Alps and Western Europe. *Climate Research*, **17**, 303-324.
- Santer BD, Taylor KE, Gleckler PJ, Bonfils C, Barnett TP, Pierce DW, Wigley TML, Mears C, Wentz FJ, Bruggemann W, Gillett NP, Klein SA, Solomon S, Stott PA, Wehner MF., (2009), Incorporating model quality information in climate change detection and attribution studies. *Proceedings of the National Academy of Science USA*, **106**: 14778–14783.
- Ulbrich U, Christoph M., (1999), A shift of the NAO and increasing storm track activity over Europe due to anthropogenic greenhouse gas forcing. *Climate Dynamics*. **15**: 551–559.
- Ullmann A, Moron V, (2008), Weather regimes and sea surge variations over the Gulf of Lions (French Mediterranean coast) during the 20th century. *International Journal of Climatology*, **28**, 159-171.
- Ullmann A, Fontaine B, Roucou P, (2014), Euro-Atlantic weather regimes and Mediterranean rainfall patterns: present-day variability and expected changes under CMIP5 projections. *International journal of climatology*, **34**, 8, 2634-2650.
- Wise M, Calvin K, Thomson A, Clarke L, Bond-Lamberty B, Sands R, Smith SJ, Janetos A, Edmonds J., (2009), Implications of limiting CO₂ concentrations for land use and energy. *Science*, **324**: 1183–1186.