



**HAL**  
open science

## Evolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chélif (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971–2010

S. Taïbi, M. Meddi, Gil Mahe

► **To cite this version:**

S. Taïbi, M. Meddi, Gil Mahe. Evolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chélif (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971–2010. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 2015, 369, pp.175-180. 10.5194/piahs-369-175-2015 . hal-02143314

**HAL Id: hal-02143314**

**<https://hal.umontpellier.fr/hal-02143314>**

Submitted on 29 May 2019

**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.



# Evolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chélif (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971–2010

S. Taibi<sup>1</sup>, M. Meddi<sup>1</sup>, and G. Mahé<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH)-Blida, Algérie

<sup>2</sup>HydroSciences Montpellier, IRD, France

Correspondence to: S. Taibi (taibisabrina86@gmail.com)

Received: 15 April 2015 – Accepted: 15 April 2015 – Published: 11 June 2015

## 1 Résumé

Une analyse des pluies journalières extrêmes du bassin du Chélif (plus grand bassin du Nord de l'Algérie) a été établie sur la période 1971–2010. Pour cela 13 stations pluviométriques ont été sélectionnées et recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Six indices de pluies journalières ont été analysés pour caractériser l'évolution temporelle de la fréquence et l'intensité des pluies journalières sur la période d'étude. Ces indices correspondent à la pluie totale annuelle des jours de pluies ( $\geq 1$  mm), aux percentiles 90, 95, 99 et 99.5% et à l'intensité journalière des jours de pluie ( $\geq 1$  mm). Le test de Mann–Kendall indique une tendance générale à la baisse significative pour les pluies totales et l'intensité journalière de certaines stations. La fréquence des fortes pluies ne montre pas de changement significatif de son évolution temporelle pour la majorité des stations.

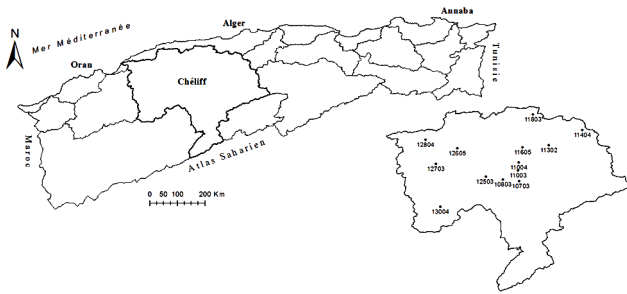
La recherche de relation entre les indices de pluies journalières et les différents modes de circulation atmosphérique a mis en évidence l'influence de l'oscillation méditerranéenne sur la variabilité des précipitations journalières du Chélif, particulièrement pour les stations qui ont connu une baisse significative de leur indice de pluies journalières.

## 2 Introduction

La communauté scientifique s'intéresse de plus en plus aux précipitations quotidiennes, vu ce qu'elles peuvent engendrer comme dégâts en cas de fortes crues. Il a été observé au cours de ces dernières années une modification du régime pluviométrique des pluies journalières en termes de fréquence et d'intensité dans certaines régions du monde. Groisman et al. (2005) ont montré que le changement observé dans l'évo-

lution de la fréquence des pluies intenses du Monde est plus important que celui qui est observé dans l'évolution des totaux annuels.

Les études menées sur les pluies extrêmes dans le bassin méditerranéen ne convergent pas toutes vers les mêmes résultats. Kioutsioukis et al. (2010) ont analysé les pluies extrêmes en Grèce sur la période 1955–2002 et ont trouvé une baisse de la fréquence des jours de pluie et de leur intensité. Alpert et al. (2002) ont montré une augmentation des pluies journalières extrêmes en Italie, en Espagne et Chypre durant la période 1951–1995 associée à une diminution des pluies totales annuelles. Martinez et al. (2007) ont analysé la variabilité des pluies journalières de la région catalane au Nord Est de l'Espagne sur la période 1950–2000 et ont montré une tendance à la baisse du nombre de jour de pluies extrêmes. Norrant et Douguédroit (2006) ont analysé le nombre de jours pluvieux ( $> 10$  mm) de 52 stations du bassin méditerranéen et ont trouvé une tendance non significative à la baisse pour la plupart des régions pendant la période 1950–2000. Brunetti et al. (2001) ont trouvé une tendance à la baisse du nombre de jours pluvieux au Nord-Est de l'Italie de 1921 à 1999 accompagnée par une augmentation de l'intensité des précipitations. Brunetti et al. (2004) ont aussi analysé la fréquence des pluies journalières de 45 stations réparties sur l'ensemble de l'Italie de 1880 à 2002 pour confirmer les résultats trouvés en 2001 (Brunetti et al., 2001) à savoir la baisse de la fréquence des jours pluvieux sur tout le territoire et l'augmentation significative de l'intensité des précipitations uniquement dans les régions du Nord. La baisse du nombre de jours pluvieux s'explique par une réduction significative des événements pluvieux de faible intensité. Philandras et al. (2011) ont analysé la tendance des pluies journalières de 40 stations de la Méditerranée et ont trouvé une réduction significative de 20 % du nombre de jours de pluie à l'Est de la Méditerra-



**Figure 1.** Limites des bassins versant du Nord de l'Algérie et localisation des stations du Chélif.

née alors que la tendance est non significative au Centre et à l'Ouest du bassin méditerranéen.

En Algérie, il existe très peu d'études sur la variabilité temporelle des pluies journalières et extrêmes. Les travaux menés par certains auteurs (Benabdesselam et Amarchi, 2013; Habibi et al., 2012; Benhattab et al., 2014; Meddi and Toumi, 2015) se limitent à l'analyse des pluies maximales journalières annuelles. Ce type d'analyse ne permet pas de mettre en évidence les changements qui peuvent affecter l'intensité et la fréquence de tous les épisodes des pluies extrêmes.

Par ailleurs, de nombreuses études ont montré que les variations du régime pluviométrique dans le bassin méditerranéen sont liées à la circulation atmosphérique générale tels que: l'Oscillation Nord Atlantique NAO (Salameh, 2008; Xoplaki et al., 2004; Lopez and Frances, 2010; Brandimarte et al., 2011) El Nino South Oscillation (ENSO) (Meddi et al., 2010; Kiladis and Diaz 1989; Rodo et al., 1997; Van Oldenborgh et al., 2000; Lloyd-Hughes and Saunders, 2002; Knipertz et al., 2003), MO (Mediterranean oscillation) (Conte et al., 1989) et WeMO (West Mediterranean Oscillation) (Martín-Vide and Lopez-Bustins, 2006).

En Algérie, l'étude menée par Meddi et al. (2010) montre que la variabilité temporelle des précipitations annuelles de l'Ouest de l'Algérie est influencée par ENSO.

Ce travail s'intéresse à l'évolution récente des pluies extrêmes du bassin du Chélif à travers l'analyse de la variabilité temporelle de leur fréquence et leur intensité sur la période 1971–2010 et l'identification des indices climatiques de la circulation atmosphérique générale influençant cette variabilité.

### 3 Zone d'étude et base de données

Le bassin du Chélif est situé au Nord-Ouest de l'Algérie avec une superficie d'environ 43 750 km<sup>2</sup> (Fig. 1). Il est considéré comme le plus important fleuve d'Algérie et s'étend sur plus de 700 km. Il prend sa source dans l'atlas tellien et débouche dans la Mer Méditerranée. Le Chélif est sous l'influence d'un climat semi-aride avec des précipita-

**Tableau 1.** Nom et coordonnées géographiques des stations pluviométriques (Degré décimal).

Code	Nom des stations	Y	X	Z (m)
10703	Rechaiga	35.407	1.979	830
10803	Mehdia	35.431	1.751	918
11003	Colonel Bougara	35.557	1.964	800
11004	Khemisti	35.667	1.972	935
11302	Derrag	35.908	2.389	1150
11404	Zoubiria	36.115	2.850	932
11605	Teneit El Had	35.876	2.024	1150
11803	Sidi Medjahed	36.333	2.167	850
12503	Sidi Hosni	35.471	1.520	790
12605	Ammi Moussa	35.864	1.120	140
12703	Kenenda	35.648	0.824	590
12804	Sidi Lakhdar	35.985	0.682	45
13004	Ain El Haddid	35.057	0.885	829

tions qui varient entre environ 600 mm an<sup>-1</sup> au Nord-Est et 300 mm an<sup>-1</sup> (voire moins) à l'Ouest et au Sud du bassin.

Les données pluviométriques de 13 stations ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale Supérieure d'Hydraulique (ANRH) sur la période 1971–2010 (Tableau 1).

Les données des indices climatiques NAO, ENSO, et MO sont issues du Climatic Research Unit (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/pci.htm>). L'indice WeMO a été développé par Martín-Vide et Lopez-Bustins (2006) de l'université de Barcelone (<http://www.ub.edu/gc/English/wemo.htm>). Les dates d'extraction des indices climatiques correspondent à la période d'étude 1971–2010.

## 4 Méthodes

### 4.1 Indices de pluies journalières

Le choix des indices de pluies journalières a été basé sur les indices définis par le groupe d'experts sur la détection et les indices du changement climatique (ETCCDI) (<http://etccdi.pacificclimate.org/>) ainsi que les indices utilisés dans d'autres études.

L'analyse de l'évolution des pluies journalières du Chélif est basée sur des indices de pluies qui reposent généralement sur l'approche du seuillage par percentile.

Six indices de pluies journalières ont été sélectionnés:

- **PTOT**: pluie annuelle totale des jours pluvieux ( $\geq 1$  mm)
- **P90**: nombre de jours de pluie par an supérieure à la valeur du 90ème percentile
- **P95**: nombre de jours de pluie par an supérieure à la valeur du 95ème percentile
- **P99**: nombre de jours de pluie par an supérieure à la valeur du 99ème percentile

**Tableau 2.** Tendance des indices de pluie journalière par décennie (PTOT: mm/décennie, fréquence: jours/décennie, SDII: mm/jour/décennie) (valeurs significatives en gras au niveau 5 %).

Stations	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
PTOT	<b>-37.8</b>	<b>-47.5</b>	-8.2	-21.9	-20.3	<b>-50.8</b>	2.2	<b>-125</b>	-15.7	<b>-31.5</b>	<b>-43.6</b>	<b>-31.8</b>	<b>-28.3</b>
P90	-0.8	-1.1	-0.3	-0.5	-0.7	-0.9	-0.4	<b>-1.7</b>	-0.6	-0.8	<b>-1.7</b>	-1.1	-0.4
P95	-0.6	-0.9	-0.1	-0.3	-0.2	-0.7	0.0	-0.8	-0.4	-0.4	-0.9	-0.6	-0.4
P99	-0.2	-0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	0.1	-0.1	-0.3	-0.1	0.0
P99.5	-0.2	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0
SDII	-0.2	<b>-0.5</b>	0.0	<b>-0.7</b>	<b>-0.7</b>	<b>-0.4</b>	-0.2	<b>-0.7</b>	-0.4	-0.2	-0.4	-0.4	0.3

– **P99.5**: nombre de jours de pluie par an supérieure à la valeur du 99.5ème percentile

– **SDII (simple daily intensity index)**: moyenne des pluies par jour de pluie ( $\geq 1$  mm)

Il s'agit dans ce travail d'analyser la tendance des six indices de pluies journalières. Cette méthode a été déjà utilisée par plusieurs auteurs (Maheras et al., 2008; Sahani et al., 2012; Ozer et al., 2007; Lupikasza, 2008; Martinez et al., 2007).

Le test de Mann–Kendall permet de déceler l'existence d'une tendance globale au sein d'une série de données temporelles et a déjà été utilisé pour la détection de tendance dans les séries pluviométriques et tester leur significativité (Vannitsem et al., 1991; Norrant et Douguédroit, 2004; Maheras et al., 2008; Chaouche et al., 2010; Tramblay et al., 2013; Driouch et al., 2010).

Les tendances des indices de pluies journalières sont évaluées à l'aide de l'estimateur de Theil–Sen (Sen, 1968), une méthode non paramétrique basée sur la pente médiane. Cette dernière étant moins sensible aux valeurs aberrantes que les méthodes de régression traditionnelles, elle permet une évaluation plus fiable de la tendance.

## 4.2 Indices climatiques

Les indices de précipitations journalières ont été corrélés avec 4 modes de la circulation atmosphérique: ENSO, NAO, MO et WeMO. Le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour détecter une liaison entre les indices de pluies et les indices climatiques.

Ces indices climatiques représentent une différence de pression calculée entre deux points (un de haute pression et l'autre de basse pression). L'indice NAO caractérise la circulation atmosphérique de l'hémisphère Nord et représente la différence de pression entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. L'indice MO représente une circulation atmosphérique régionale qui caractérise le bassin Méditerranéen. Il correspond à la différence de pression entre Alger et le Caire. L'indice WeMO a été défini comme la différence de pression entre les régions du nord de la péninsule italienne et le sud-ouest de la péninsule ibérique afin de caractériser la variabilité climatique de la région Ouest de la méditerranée.

Le phénomène ENSO caractérise quant à lui la circulation atmosphérique de l'hémisphère Sud mais il a été démontré que des épisodes intenses d'ENSO ont une influence sur la circulation atmosphérique générale. Dans ce travail ce phénomène est évalué par l'indice SOI (South Oscillation Index) calculé avec les pressions de Darwin (nord de l'Australie) et de Paapeete (station de FAAA à Tahiti, gérée par Météo-France).

## 5 Résultats

### 5.1 Analyse des tendances des indices de pluies journalières

La tendance des indices de pluies journalières est représentée dans le Tableau 2. Les valeurs en gras désignent une tendance significative testée par le test de Mann–Kendall au seuil 5 % (lorsque la  $p$ -value est inférieure au seuil de signification 0.05 l'hypothèse nulle d'absence de tendance est rejetée). Ces valeurs expriment l'amplitude des tendances des indices de pluie par décennies déterminée par l'estimateur de Theil–Sen.

Il apparaît dans l'ensemble que les 6 indices de pluies journalières indiquent une tendance négative pour la plupart des stations. Cette tendance est notamment significative pour PTOT de 8 stations du Chélif, particulièrement celles situées à l'Ouest et au sud du bassin. La baisse des PTOT varie entre environ 28 mm/décennie à Ain El Haddid et 125 mm/décennie à Sidi Medjahed. Taïbi et al. (2013) ont montré une baisse des précipitations annuelles dans cette région à partir de la moitié des années 70.

La fréquence des jours de pluies intenses (P90), très intenses (P95), extrêmes (P99) et rares (P99.5) a connu aussi une tendance négative mais pas significative. Les stations de Sidi Medjahed et Kenenda sont seules à montrer une baisse significative de P90 de 1,7 jour par décennie. Ces résultats coïncident avec ceux trouvés par Tramblay et al. (2013) au Maghreb et d'autres auteurs en Méditerranée (Kioutsoukis et al., 2010; Norrant et Douguédroit, 2006; Brunetti et al., 2001).

L'indice de l'intensité journalière (SDII) montre une tendance générale à la baisse plutôt significative aux stations de Mehdiya, Derrag, Zoubiria et Sidi Medjahed qui varie entre 0,4 et 0,7 mm jr<sup>-1</sup> par décennie.

**Tableau 3.** Coefficient de corrélation de Pearson entre les indices de pluies journalières et les indices climatiques (valeurs significatives en gras au niveau 5 %).

Indice de pluie journalière: PTOT													
IC	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
SOI	0.26	0.07	0.15	-0.08	0.06	0.21	0.03	0.33	0.28	0.1	0.35	0.24	0.14
NAO	-0.17	-0.13	0.00	-0.13	0.11	-0.07	-0.07	-0.12	-0.22	-0.23	-0.27	-0.25	-0.22
WMOI	-0.21	-0.23	-0.06	<b>-0.5</b>	0.10	-0.02	0.14	0.16	-0.23	-0.02	0.13	-0.16	-0.2
MOI	<b>-0.53</b>	<b>-0.43</b>	-0.31	<b>-0.39</b>	-0.11	-0.25	-0.32	<b>-0.44</b>	-0.23	<b>-0.43</b>	-0.20	-0.29	<b>-0.46</b>
Indice de pluie journalière: P90													
IC	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
SOI	0.12	0.16	0.07	-0.20	-0.01	0.11	-0.03	0.24	0.22	0.08	<b>0.5</b>	0.18	0.04
NAO	-0.19	-0.13	0.01	-0.17	-0.3	0.11	-0.11	-0.23	-0.23	-0.32	-0.34	-0.21	-0.27
WMOI	-0.16	-0.21	-0.01	<b>-0.46</b>	-0.17	0.06	0.28	0.17	-0.03	0.04	0.14	-0.1	-0.04
MOI	<b>-0.35</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.43</b>	<b>-0.38</b>	-0.11	-0.24	<b>-0.35</b>	-0.23	<b>-0.43</b>	-0.23	-0.25	<b>-0.35</b>
Indice de pluie journalière: P95													
IC	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
SOI	0.16	-0.02	0.01	0.01	-0.15	-0.01	0.11	0.25	0.05	0.03	<b>0.45</b>	0.32	0.14
NAO	-0.08	-0.01	0.08	-0.32	-0.14	0.06	-0.08	-0.32	-0.13	-0.07	-0.28	-0.09	-0.28
WMOI	-0.24	-0.21	0.13	<b>-0.39</b>	-0.02	-0.01	0.19	-0.07	-0.06	0.12	0.03	-0.02	<b>-0.43</b>
MOI	0.07	-0.33	-0.20	<b>-0.51</b>	-0.16	-0.05	-0.14	-0.31	-0.14	-0.06	-0.13	-0.09	<b>-0.40</b>
Indice de pluie journalière: P99													
IC	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
SOI	0.15	0.09	-0.23	<b>0.38</b>	<b>-0.38</b>	0.17	-0.05	0.08	0.11	-0.05	0.23	0.2	0.02
NAO	-0.07	0.06	0.19	-0.23	0.11	-0.23	-0.03	-0.13	-0.15	-0.1	-0.08	-0.25	0.07
WMOI	-0.32	<b>-0.41</b>	-0.09	-0.13	0.07	0.14	0.09	0.18	-0.08	-0.08	0.1	-0.17	0.13
MOI	-0.02	-0.12	-0.12	-0.30	-0.02	0.1	0.07	-0.02	0.04	-0.22	-0.03	-0.19	0.03
Indice de pluie journalière: P99.5													
IC	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
SOI	0.18	-0.11	-0.07	0.15	-0.23	0.1	0.08	0.14	0.05	0.09	0.05	0.22	-0.01
NAO	-0.28	-0.09	0.06	-0.27	0.13	-0.23	0.14	0.08	-0.26	-0.2	-0.18	-0.21	0.01
WMOI	-0.28	-0.18	-0.05	-0.18	<b>0.48</b>	-0.08	0.33	0.28	-0.11	-0.06	-0.15	-0.16	0.03
MOI	-0.20	-0.09	-0.13	-0.35	0.04	0.01	0.33	0.01	0.00	-0.32	-0.13	-0.2	-0.08
Indice de pluie journalière: SDII													
IC	10703	10803	11003	11004	11302	11404	11605	11803	12503	12605	12703	12804	13004
SOI	0.07	0.11	0	0.07	0.1	0.11	0.11	0.29	0.07	0.07	<b>0.47</b>	0.34	0.08
NAO	0	-0.09	-0.1	-0.17	-0.29	0.06	-0.1	-0.23	-0.15	-0.17	-0.24	-0.25	-0.12
WMOI	-0.19	-0.05	-0.16	<b>-0.43</b>	0.2	-0.07	0.32	0.22	0.28	0.27	0.11	0.07	0.1
MOI	-0.06	-0.33	<b>-0.43</b>	<b>-0.42</b>	<b>-0.38</b>	-0.33	-0.11	<b>-0.47</b>	-0.04	-0.26	-0.14	-0.19	-0.06

## 5.2 Corrélations entre les indices de pluies journalières et les indices climatiques

Il s'agit de mettre en évidence l'influence des différents types de circulation atmosphérique sur la tendance des pluies journalières observée au cours des 40 dernières années (Tableau 3).

Il apparaît que les stations qui ont connu une baisse significative de PTOT montrent une corrélation négative significative avec l'indice MO. Les autres stations sont plus corrélées avec MOI que les autres indices.

De fortes corrélations sont aussi observées entre P90 et MOI. Les stations situées vers l'Ouest sont aussi corrélées avec NAO.

Les corrélations entre les pluies très intenses, extrêmes et rares (P95, P99 et P99.5) et les indices climatiques ne sont pas clairement mises en évidence. Ceci est probablement dû au fait que l'évolution temporelle de ces trois indices n'a pas connu de changement significatif durant la période 1971–2010.

Des corrélations négatives significatives sont observées entre l'indice de l'intensité journalière (SDII) et MOI au ni-

veau des stations qui ont connu une baisse significative de cet indice pendant la période d'étude.

## 6 Discussions et conclusion

Ce travail met en évidence l'évolution de la fréquence et l'intensité des pluies journalières du bassin du Chélif au cours des 40 dernières années. Les indices de pluies journalières analysés dans cette étude montrent dans l'ensemble une tendance négative des pluies annuelles journalières et de leur intensité ainsi qu'une baisse de la fréquence des pluies intenses très intenses, extrêmes et rares. Toutefois, cette tendance est faiblement significative pour les pluies intenses à rares. Ceci veut dire que les fortes pluies du bassin du Chélif n'ont pas connu un changement significatif dans leur évolution temporelle au cours de la période 1971–2010 contrairement à ce qui a été montré par le GIEC (2007) et d'autres études (Groisman et al., 2005; Alpert et al., 2002) quant à l'augmentation de la fréquence et l'intensité des événements extrêmes dans différentes régions du monde.

L'analyse des relations entre les indices de pluies et les indices climatiques a fait ressortir l'influence de MO sur la variabilité des précipitations journalières du Chélif. Des corrélations négatives significatives sont observées entre ce mode de circulation atmosphériques et les stations qui ont connu une baisse significative de leur indice de pluies particulièrement PTOT et SDII. Effectivement, plusieurs études ont mis en évidence l'influence de MO sur la variabilité des précipitations du bassin Méditerranéen (Düneloh and Jacobeit, 2003; Douguédroit, 1998; Maheras et al., 1999; Lopez-Bustins, 2007). Cet indice a connu une phase positive depuis la moitié des années 70, ce qui provoque une baisse des précipitations du bassin méditerranéen et du Nord-Ouest de l'Algérie. Taibi et al. (2014) ont aussi trouvé une relation significative entre les pluies mensuelles du Nord-Ouest de l'Algérie y compris le Chélif et l'indice MO.

## Références

- Alpert, P., Ben-gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Ramis, C., Homar, V., Romero, R., Michaelides, S., and Manes, A.: The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values, *Geophys. Res. Lett.*, 29, 31–1–31–4, doi:10.1029/2001GL013554, 2002.
- Benhattab, K., Bouvier, C., and Meddi, M.: Regional analysis for the estimation of low frequency daily rainfalls in Chélif catchment, Algeria, *Revue des sciences de l'eau, J. Water Sci.*, 27, 189–203, 2014.
- Benabdesselam, T. et Amarchi, H.: Approche régionale pour l'estimation des précipitations journalières extrêmes du Nord Est Algérien, *Courrier du Savoir*, 17, 175–184, 2013.
- Brandimarte, L., Di Baldassarre, G., Bruni, G., D'Odorico, P., and Montanari, A.: Relation between the north-atlantic oscillation and hydroclimatic conditions in mediterranean areas, *Water Resour. Manage.*, 25, 1269–1279, 2011.
- Brunetti, M., Maugeri, M., and Nanni, T.: Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy, *Int. J. Climatol.*, 21, 861–871, 2001.
- Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., and Nanni, T.: Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years, *J. Geophys. Res.*, 109, D05102, doi:10.1029/2003JD004296, 2004.
- Chaouche, K., Neppel, L., Dieulin, C., Pujol, N., Ladouche, B., Martin, E., Salas, D., and Caballero, Y.: Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change, *C. R. Geosci.*, 342, 234–243, 2010.
- Conte, M., Giuffrida, A., and Tedesco, S.: The Mediterranean Oscillation. Impact on precipitation and hydrology in Italy Climate Water, Publications of the Academy of Finland, Helsinki, 1989.
- Driouech, F., Déqué, M., and Sánchez-Gómez, M.: Weather regimes – Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation, *Global Planet. Change*, 72, 1–10, 2010.
- Douguédroit, A.: Que peut-on dire d'une oscillation méditerranéenne?, in: *climate and environmental change*, edited by: Alcorado, M. J., Evora, 135–136, 1998.
- Düneloh, A. and Jacobeit, J.: Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability 1948–98, *Int. J. Climatol.*, 23, 1843–1866, 2003.
- GIEC: Bilan 2007 des changements climatiques, Rapport de synthèse n. 4, p. 114, 2007.
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., Easterling, D., R., Karl, T., R., Hegerl, G., C., and Razuvaev, V., N.: Trends in Intense Precipitation in the Climate Record, *J. Climate*, 18, 1326–1350, 2005.
- Habibi, B., Meddi, M., et Boucefiane, A.: Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales Cas du Bassin Chott-Chergui, *Revue Nature & Technologie, C- Sciences de l'Environnement*, 8, 41–48, 2012.
- Kioutsoukakis, I., Melas, D., and Zerefos, C.: Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002), *Int. J. Climatol.*, 30, 1723–1737, 2010.
- Kiladis, G. N. and Diaz, H. F.: Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation, *J. Climate*, 2, 1069–1090, 1989.
- Knippertz, P., Christoph, M., and Speth, P.: Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 83, 67–88, 2003.
- Lloyd-Hughes, B. and Saunders, M. A.: Seasonal prediction of European spring precipitation from ElNiño–Southern Oscillation and local sea surfaces temperatures, *Int. J. Climatol.*, 22, 1–14, 2002.
- Lopez, J. and Frances, F.: Influence of the North Atlantic Oscillation and the western mediterranean oscillation in the maximum flow events in Spain, *International workshop advances in statistical hydrology, taormina, Italy*, 23–25 May, 2010.
- Lupikasza, E.: Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951–2006, *Int. J. Climatol.*, 30, 991–1007, 2008.
- Maheras, P., Xoplaki, E., and Kutiel, H.: Wet and dry monthly anomalies across the mediterranean basin and their relationship with correlation, 1860–1990, *Theor. Appl. Climatol.*, 64, 189–199, 1999.

- Maheras, P., Tolika, K., et Anagnostopoulou, C.: Relations entre les précipitations moyennes et extrêmes et les types de circulation atmosphérique en Belgique, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 51, 115–125, 2008.
- Martín-Vide, J. and Lopez-Bustins, J. A.: The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula, *Int. J. Climatol.*, 26, 1455–1475, 2006.
- Martínez, M. D., Lana, X., Burguenoc, A., and Serra, C.: Spatial and temporal daily rainfall regime in Catalonia (NE-Spain) derived from four precipitation indices, years 1950–2000, *Int. J. Climatol.*, 27, 123–138, 2007.
- Meddi, M., Assani, A., A., and Meddi, H.: Temporal variability of annual rainfall in the Macta and Tafna catchments, Northwestern Algeria, *Water Resour. Manage.*, 24, 3817–3833, 2010.
- Meddi, M. and Toumi, S.: Spatial variability and cartography of maximum annual daily rainfall under different return periods in the North of Algeria, *J. Mountain Sci.*, doi:10.1007/s11629-014-3084-3, 2015.
- Norrrant, C. et Douguédroit, A.: Tendances des précipitations mensuelles et quotidiennes dans le Sud-Est méditerranéen français, *Anales de l'association internationale de météorologie*, 1, 45–64, 2004.
- Norrrant, C. and Douguédroit, A.: Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000), *Theor. Appl. Climatol.*, 83, 89–106, 2006.
- Ozer, P., Hountondji, Y., C., et Laminou Manzo, O.: Evolution des caractéristiques pluviométriques dans l'est du Niger de 1940 à 2007, *Geo-Eco-Trop.*, 33, 11–30, 2007.
- Philandras, C. M., Nastos, P. T., Kapsomenakis, J., Douvis, K. C., Tselioudis, G., and Zerefos, C. S.: Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 3235–3250, doi:10.5194/nhess-11-3235-2011, 2011.
- Rodo, X., Baert, E., and Comin, F. A.: Variations in seasonal rainfall in Southern Europe during the present century: relationships with the North Atlantic Oscillation and the El Niño–Southern Oscillation, *Clim. Dynam.*, 13, 275–284, 1997.
- Sahani, M., Moeyersons, J., Vandecasteele, I., Trefois, P., et Ozer, P.: Evolution des caractéristiques pluviométriques dans la zone urbaine de Butembo (RDC) de 1957 à 2010, *Geo-Eco-Trop.*, 36, 121–136, 2012.
- Salameh, T.: Modélisation multi-échelles de la circulation atmosphérique hivernale sur le bassin méditerranéen: rôle des interactions d'échelles, Thèse de doctorat, école polytechnique, France, p. 156, 2008.
- Sen, P. K.: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379–1389, 1968.
- Taibi, S., Meddi, M., Souag, D., and Mahe, G.: Évolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009). In: *Climate and land surface changes in hydrology*, IAHS Publ. 359, 191–197, 2013.
- Taibi, S., Meddi, M., Mahé G., and Assani, A.: Analysis of rainfall extreme events in Northern Algeria, *Proceedings of the Mediterranean Meeting on "Monitoring, modelling and early warning of extreme events triggered by heavy rainfalls"*, University of Calabria, Cosenza (Italy), 26–28 June, 2014.
- Tramblay, Y., El Adlouni, S., and Servat, E.: Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 3235–3248, doi:10.5194/nhess-13-3235-2013, 2013.
- Vannitsem, S. et Demarée, G.: Détection et modélisation des sécheresses au Sahel, *Propositions d'une nouvelle méthodologie*, *Hydrol. Cont.*, 6, 155–171, 1991.
- Van Oldenborgh, G. J., Burgers, G., and Tank, A. K.: On the El Niño teleconnection to spring precipitation in Europe, *Int. J. Climatol.*, 20, 565–574, 2000.
- Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J. F., Luterbacher, J., and Wanner, H.: Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends, *Clim. Dynam.*, 23, 63–78, 2004.