

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

-جامعة الجيلالي بونعامة – خميس مليانة

UNIVERSITE DJILALI BOUNAAMA – KHEMIS-MILIANA



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département : Sciences de la Terre

Filière : Géologie Appliquée

Spécialité: Hydrogéologie

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Master

**Thème**

**Impact du Changement Climatique sur l'Évolution des précipitations journalières extrêmes dans le Bassin Hydrographique Chélif-Zahrez**

Préparé par:

- LAIB Mohammed
- TEFFAH Bachir

Devant le jury :

Mr RATA Mohamed	Président	MCB	UDBKM
Mr BOUCEFIANE Abdelkader	Promoteur	MCB	UDBKM
Mr SADEUK BEN ABASS Abdelkader	Examineur	MCB	UDBKM

Année universitaire : 2021/2022

---

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, et avant tout, nous remercions Allah qui nous a donné la force, le courage et les moyennes pour la réalisation de ce travail*

*Nous remercions Mr BOUCEFIANE Abdelkader pour tout son dévouement lors de nous encadrement, pour tout son aide et ses précieux conseils et ses encouragements incessants, et surtout pour sa patience et sa compréhension.*

*A Mr. Rata Mohamed maitre conférence à l'université Djilali BounaamaKhemis Miliana de nous avoir fait l'honneur de présider Notre jury.*

*A Mr. SADEUK BEN ABASS Abdelkader maitre de conférence à l'université Djilali BounaamaKhemisMelianad 'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*A tout ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

## ملخص

يؤثر هطول الأمطار وتوزيعها بشكل كبير على تطور النظم البيئية وتطور المجتمع. ان الهدف المتوقع من هذا العمل هو دراسة تأثير تغير المناخ على هطول الشدود الأمطار من خلال تحليل منحنيات هطول الأمطار اليومية القصوى في مستجمعات المياه في الشلف زهرز. تم حساب المؤشرات المناخية من خلال المعطيات لسبع (07) محطات مطرية. تُستخدم هذه المؤشرات لتحليل منحنيات تطور هطول الأمطار القصوى. تم تحليل المعطيات الزمنية لهذه المؤشرات باستخدام اختبار مان-كيندال. يظهر عدد الأيام التي تزيد عن 20 ملم والأيام الممطرة المتتالية والأيام شديدة الأمطار منحنيات تصاعدية بنسبة كبيرة في بعض المحطات (الأصنام DDA وثنية الحد) واتجاهاً هبوطياً للمحطات الأخرى (خميس ANRH وعريب شليف ومدينة سكتور).

توضح جميع المؤشرات المستخدمة في هذه الدراسة منحنى تصاعدياً واضحاً لهاتين المحطتين (الأصنام DDA وثنية الحد) ، وازدادت شدة هطول الأمطار، وعدد الأيام الممطرة ، والإجمالي التراكمي خلال فترة الدراسة من 1968 إلى 2019. بالإضافة إلى ذلك، انخفضت كثافة هطول الأمطار اليومية وازداد عدد أيام الجفاف.

**الكلمات المفتاحية :** تغير المناخ ، نظام هطول الأمطار، الأمطار، تحليل منحنى التغيرات، حوض الشلف، الجزائر

## ***Résumé***

Les précipitations et leur répartition influencent grandement l'évolution des écosystèmes et le développement de la société. L'objectif attendu de ce travail était d'étudier l'impact du changement climatique sur les précipitations extrêmes à travers l'analyse des tendances pluies journalières maximales dans le bassin Hydrographique Cheliff Zahrez. Des indices climatiques ont été calculés à travers sept (07) stations pluviométriques. Ces indices sont utilisés pour caractériser les tendances dans l'évolution des précipitations extrêmes. Les séries chronologiques de ces indices ont été analysées avec le test non paramétrique de Mann-Kendall. Le nombre de jours au-dessus de 20 mm, de jours humides consécutifs et de jours extrêmement humides présente des tendances significatives à la hausse dans certaines stations (El Asnam DDA et Theniet El Had) et une tendance à la baisse pour d'autres stations (Khemis ANRH, Arib Cheliff et Media Secteur).

L'ensemble des indices utilisés dans cette étude montre une nette tendance à la hausse pour ces deux stations (El Asnam DDA et Theniet El Had), l'intensité des précipitations, le nombre de jours de pluie et le total cumulé ont augmenté sur la période d'étude allant de 1968 à 2019. De plus, l'intensité des précipitations quotidiennes a diminué et le nombre de jours secs a augmenté.

**Mots clés :** Changement climatique, régime pluviométrique, Pluies extrêmes, analyse des tendances, Chélif-Zahrez, Algérie

***Abstract***

Precipitation and its distribution greatly influence the evolution of ecosystems and the development of society. The expected objective of this work was to study the impact of climate change on extreme precipitation through the analysis of maximum daily rainfall trends in the Cheliff Zahrez watershed. Climatic indices were calculated through seven (07) rainfall stations. These indices are used to characterize the trends in the evolution of extreme precipitation. The time series of these indices were analyzed with the Mann-Kendall non-parametric test. The number of days above 20 mm, consecutive wet days and extremely wet days shows significant upward trends in some stations (El Asnam DDA and Theniet El Had) and a downward trend for other stations (Khemis ANRH, Arib Cheliff and Media Sector).

All the indices used in this study show a clear upward trend for these two stations (El Asnam DDA and Theniet El Had), the intensity of precipitation, the number of rainy days and the cumulative total have increased over the study period from 1968 to 2019. In addition, the intensity of daily precipitation has decreased and the number of dry days has increased.

**Keywords:** Climate change, rainfall regime, extremes events, trend analysis, climatic indices Chélif, Algeria

# Sommaire

<i>ملخص</i> .....	<i>i</i>
<i>Résumé</i> .....	<i>ii</i>
<i>Abstract</i> .....	<i>iii</i>
<i>Introduction générale</i> .....	<i>1</i>
<b><i>I. Aperçu bibliographique</i></b> .....	<b><i>- 4 -</i></b>
I.1 Changement climatique .....	- 4 -
I.1.1 Causes du changement climatique .....	- 5 -
I.1.2 Les indicateurs du changement climatique.....	- 8 -
I.1.3 Les changements climatiques à l'échelle régionale (l'Algérie).....	- 9 -
<b><i>II. Présentation générale de la zone d'étude</i></b> .....	<b><i>12</i></b>
II.1 Domaine géographique et administratif de la zone d'étude .....	12
II.1.1 Population.....	13
II.2 Contexte hydro-climatologique .....	13
II.2.1 Caractéristiques morphologique .....	13
II.3 Caractéristique hydro-climatique.....	20
II.3.1 Pluviométrie.....	20
II.3.2 Température .....	22
II.3.3 Le vent .....	23
II.3.4 L'évapotranspiration .....	24
II.4 Caractéristiques hydrographique .....	25
II.4.1 Réseaux hydrographique .....	25
II.5 Couvert végétal.....	25
II.6 Contexte géologique et hydrogéologique du bassin Cheliff .....	25
II.6.1 Stratigraphie.....	26
II.6.2 Principales Formation Géologiques .....	27
II.6.3 Principales Unités Hydrogéologiques .....	28
<b><i>III. Matériels et méthodes de travail</i></b> .....	<b><i>30</i></b>
III.1 Données utilisées .....	30
III.1.1 Réseau de mesure pluviométrique de la région d'étude.....	30

---

III.2	RClmDex.....	31
III.2.1	Téléchargement et installation de RClmDex.....	31
III.3	Méthodes de travail.....	33
III.3.1	Analyse des tendances dans les séries chronologiques.....	34
<b>IV.</b>	<b>Résultats et discussion .....</b>	<b>38</b>
IV.1	Évolution des tendances dans les séries des précipitations .....	38
IV.1.1	Statistiques descriptive des données pluviométriques disponibles .....	38
IV.1.2	Tendance des précipitations moyennes annuelles.....	40
IV.1.3	Analyse des indices climatiques .....	42
	<b>Conclusion générale .....</b>	<b>48</b>
	<b>Références Bibliographiques .....</b>	<b>50</b>
	<b>Annexe IV-1 : Évolution et tendances des précipitations annuelles .....</b>	<b>53</b>
	<b>Annexe IV-2 : Indices climatiques.....</b>	<b>61</b>

## *Liste des Tableaux*

Tableau II-1 : Caractéristiques de formes des sous-bassins du Cheliff-Zahrez.....	15
Tableau II-2 : Classification des reliefs selon l'ORSTOM .....	18
Tableau II-3 : Caractéristiques et classes de relief des sous-bassins du Cheliff-Zahrez (KHEDIMALLAH, 2021) .....	19
Tableau II-4 : Températures moyennes mensuelles dans le bassin Cheliff zahrez .....	22
Tableau II-5 : Evapotranspiration mensuelles dans le bassin Cheliff Zahrez.....	24
Tableau III-1 : Indices de précipitations extrêmes (ETCCDMI), .....	37
Tableau IV-1 : Caractéristiques statistiques des séries pluviométriques annuelles. ....	38
Tableau IV-2 : Résultats de calcul des indices climatiques .....	43

## Liste des Figures

Figure I-1 : Le changement climatique traduit, en 2050, par une baisse des rendements agricoles, si les pratiques agricoles actuelles continuent d'être employées (Müller et al. 2009, Banque mondiale 2008c)	- 4 -
Figure I-2 : Répartition des émissions anthropiques totales de GES (gigatonnes d'équivalent-CO <sub>2</sub> par an, Gt <sub>eq</sub> CO <sub>2</sub> /an) entre les secteurs économiques en 2010.....	- 7 -
Figure I-3 : Comparaison des changements observés et simulés dans les températures.....	- 8 -
Figure II-1 : Situation géographique du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.....	12
Figure II-2 : Evolution de la population par horizons et par scénario (PNE, 2015).....	13
Figure II-3 : Sous bassins versant du grand bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez .....	14
Figure II-4 : Carte de relief du bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez.....	17
Figure II-5 : Réseau pluviométrique du bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez .....	21
Figure II-6 : Evolution des précipitations annuelles dans le Bassin Cheliff-Zahrez (1967-2019).....	21
Figure II-7 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles .....	22
Figure II-8 : Evolution des températures moyennes mensuelles .....	23
Figure II-9 : Cartes extraites de l'Atlas du vent saisonniers à 10 m du sol. (Eté, Printemps, Hiver et automne) (Kasbadji <i>et al.</i> 2000) .....	23
Figure II-10 : Evolution de l'évapotranspiration potentielle dans le bassin Cheliff-Zahrez .....	24
Figure II-11 : Cadre géologique de la plaine de Cheliff.....	26
Figure II-12 : Coupe géologique dans le bassin Cheliff Direction Nord-Sud .....	28
Figure III-1 : Stations pluviométriques utilisées.....	30
Figure III-2 : Présentation du menu déroulant du logiciel R.....	31
Figure III-3 : Présentation du RClimDex.....	32
Figure III-4 : Fenêtre définissant les paramètres d'entrée du RClimDex .....	32
Figure III-5 : Fenêtre permettant la sélection des indices climatiques.....	33
Figure IV-1 : Représentation en box plot de séries pluviométriques.....	40
Figure IV-2 : Variation annuelle de précipitation (mm) au cours de la période (1968-2019).....	41
Figure IV-3 : Hauteur maximale de précipitations sur 1 et 5 jour (a-RX1day, b-RX1day).....	44
Figure IV-4 : Indice d'intensité journalière (SDII).....	45
Figure IV-5 : Nombre de jours de fortes précipitations (a-R10 et b-R20) .....	46
Figure IV-6 : Nombre de jours très humides (R95p).....	47
Figure IV-7 : Précipitations annuelles totales par jour de pluie(PRCPTOT) .....	47

## ***Liste des symboles et Acronyme***

**ANRH** : Agence National des ressources en hydraulique.

**GIEC** : le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat.

**OMM** : L'Organisation météorologique mondiale.

**GES** : Gaz à effet de serre.

**DRE** : Ministère des ressources en eau

**ONM** : Office national de météorologie

INTRODUCTION

---

GENERALE

## **Introduction générale**

Actuellement, l'un des défis les plus importants des hydrologues et climatologues à travers le monde est de comprendre le changement climatique et atténuer ses effets néfastes. La variabilité climatique est un phénomène difficile pour en détecter ses différentes causes, se manifestant par les problèmes de désertifications, l'effet de serre, de sécheresse, de rareté des eaux et changement de leur chimisme, ainsi que l'érosion des sols et leur salinisation.

Le changement climatique, la variabilité climatique et les événements extrêmes intéressent au premier lieu la société. Le changement climatique est une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, qui persiste pendant une période prolongée (des décennies ou plus). Elle peut être causée par des processus naturels internes ou des forçages externes, ou par des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou l'utilisation des terres (OMM, 2017).

Un événement météorologique extrême est un phénomène climatique ou météorologique rare à un endroit ou à une période de l'année, (vagues de chaleur, vagues de froid, fortes pluies, sécheresses, les inondations et les violentes tempêtes). Autrement, un événement de précipitation extrême est un événement au cours duquel les précipitations au cours d'une période spécifique dépassent un certain seuil, soit en un point (c'est-à-dire mesuré par un seul indicateur de pluie), soit en moyenne sur une certaine région spatiale.

Ces derniers temps, les événements extrêmes ont reçu une grande attention. Bien que la pluie est bénéfique pour l'humanité et les processus environnementaux et hydrologiques, ses extrêmes fréquents sont associés à des effets néfastes tels que le ruissellement élevé, les inondations et l'érosion. Néanmoins, les précipitations faibles et irrégulières entraînent des sécheresses et des dégâts agricoles importants. Pour l'étude des extrêmes, l'équipe d'experts sur la surveillance et les indices de détection des changements climatiques (ETCCDMI) a développé 27 indices Climatiques extrêmes associés aux précipitations et température (Peterson et al., 2001).

Dans le monde entier, une grande variété d'études axées sur les événements de précipitations extrêmes ont été menées. Zhang et al. (2005) ont considéré 10 indices de précipitations extrêmes dans une enquête menée dans 15 pays du Moyen-Orient. Ils ont trouvé des tendances positives significatives dans le nombre de jours avec précipitations et dans l'intensité moyenne des précipitations. Dans une étude des tendances de 10 événements de précipitations extrêmes dans 14 pays d'Afrique australe et occidentale, New et al. (2006) ont constaté des augmentations significatives de l'intensité des précipitations quotidiennes, de la durée des périodes sèches et des précipitations sur 1 jour.

Plusieurs études établies ayant pour but de connaître plus d'informations sur le changement climatique et la variabilité climatique, aussi l'influence et les impacts de ces changements sur les événements extrêmes.

Notre travail est composé de quatre parties axées à savoir :

- La première partie s'agit d'une synthèse bibliographique dans le but de cerner les notions de climat, le changement climatique et les causes de l'évolution du climat, ainsi que l'impact de changement sur les évènements extrêmes.
- La deuxième partie est réservée à une présentation générale de la zone d'étude et à la disponibilité des données.
- Concernant la troisième partie nous procédons à exposer la méthodologie de travail nécessaire pour la détermination des tendances des pluies journalières maximales en définissant les indices climatiques et leur rôle relatif au suivi de l'évolution de climat.
- La dernière partie concerne l'application de ces méthodes dans la zone d'étude et l'interprétation des résultats obtenus.

# *Chapitre I :*

---

APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Aperçu bibliographique

### I.1 Changement climatique

Les changements climatiques sont la question déterminante de notre époque et nous se trouvons face à un moment décisif surtout par rapport à l'évolution des conditions météorologiques, qui ont des effets sur la production agricole et alimentaire, à l'élévation du niveau des mers, qui augmente les risques d'inondations, les conséquences des changements climatiques sont mondiales en termes d'effets et d'échelle. Sans action immédiate, il sera beaucoup plus difficile et coûteux de s'adapter aux conséquences futures de ces changements.

Les changements climatiques et leurs impacts sont désormais reconnus comme l'un des plus grands défis du monde, de ses peuples, de son environnement et de ses économies (GIEC, 2007). À l'échelle planétaire, comme effets directs, les changements climatiques sont en train d'induire une élévation de la température et une nouvelle répartition des précipitations (Bergonzini, 2004). Le changement climatique entraînera également une perte de biodiversité : de 15 à 37 % des plantes et espèces animales terrestres pourraient disparaître d'ici à 2050 (FIDA, 2008). Pour certains, l'accroissement de la fréquence et de l'ampleur des phénomènes météorologiques extrêmes comme les sécheresses, les inondations ou les tempêtes : conséquences directes des changements climatiques, sont déjà une réalité. La santé, les écosystèmes terrestres et aquatiques et les systèmes socio-économiques comme l'agriculture, l'exploitation forestière, la pêche et les ressources en eau, éléments essentiels au développement et au bien-être de l'humanité, sont sensibles aux variations du climat et subissent déjà les effets induits des changements climatiques (GIEC, 2007).

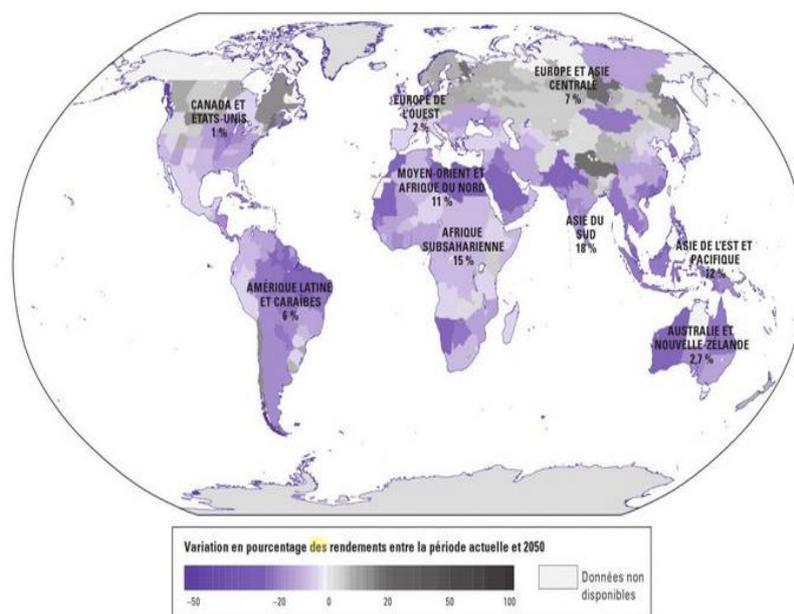


Figure I-1 : Le changement climatique traduit, en 2050, par une baisse des rendements agricoles, si les pratiques agricoles actuelles continuent d'être employées (Müller et al. 2009, Banque mondiale 2008c)

La carte ci-dessus indique le pourcentage de variation des rendements indiqué par les projections pour 11 grandes cultures (blé, riz, maïs, mil, pois four à sucre, patate douce, soja, arachides, tournesol et colza) pour la période 2005-2050, par rapport à la période 1996-2005. Les valeurs des modifications des rendements sont les moyennes des valeurs provenant de l'application de cinq modèles climatiques à trois scénarios d'émissions, en posant en hypothèse l'absence de tout effet de fertilisation du Co, l'augmentation des concentrations ambiantes de Co, pourrait stimuler la croissance des plantes et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les chiffres indiquent la part du PIB imputable à l'agriculture dans chaque région. (Cette part est de 23 % pour l'Afrique subsaharienne, Afrique du Sud non comprise). Les projections font état d'impacts négatifs importants sur les rendements dans de nombreuses régions fortement tributaires de l'agriculture.

### **I.1.1 Causes du changement climatique**

Les moteurs du changement climatique peuvent être divisés en deux catégories, ceux liés aux processus naturels et liés aux activités anthropiques, en plus des causes les conditions naturelles, les changements internes du système climatique, en particulier la variabilité des courants océaniques ou la circulation atmosphérique peuvent également avoir un effet impact sur le climat pendant de courtes périodes, cette variabilité interne naturelle du climat superposées au changement climatique à long terme déclenché par des facteurs de forçage.

#### **I.1.1.1 Causes naturels**

Les facteurs naturels externes au système climatique, tels que les changements activité volcanique, émission d'énergie solaire et orbite de la Terre autour du soleil pourrait changer le climat de la planète, y compris deux facteurs qui font que les échelles de temps du changement climatique contemporain sont changements les dans l'activité volcanique et changements dans le rayonnement solaire, y compris bilan énergétique de la Terre ; Ces facteurs affectent principalement la quantité d'énergie reçue.

L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre, autres que la vapeur d'eau qui se recycle rapidement et en permanence, est un élément très important, qui doit être observé avec précision sur plusieurs décennies pour donner lieu à une interprétation fiable.

##### **1) Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)**

La concentration dioxyde de carbone augmente continûment depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, en raison principalement des activités industrielles, passant de 280 ppm vers 1870 à 388 ppm en 2009. Le taux de croissance mesuré depuis 1970 est environ 500 fois plus élevé que celui observé en moyenne sur les 5 000 dernières années. Les études isotopiques montrent que l'origine de cette augmentation est due pour plus de la moitié à la combustion des combustibles fossiles, le reste aux déboisements massifs et pour une faible part à la production de ciment.

## 2) Le méthane (CH<sub>4</sub>)

dû notamment aux fermentations diverses (zones humides, ruminants, déchets domestiques, biomasse, ...), aux fuites de gaz naturels et à la fonte du pergélisol, sa concentration s'est accrue de 140 % sur la même période. Elle semble cependant stabilisée depuis 2000.

## 3) Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O)

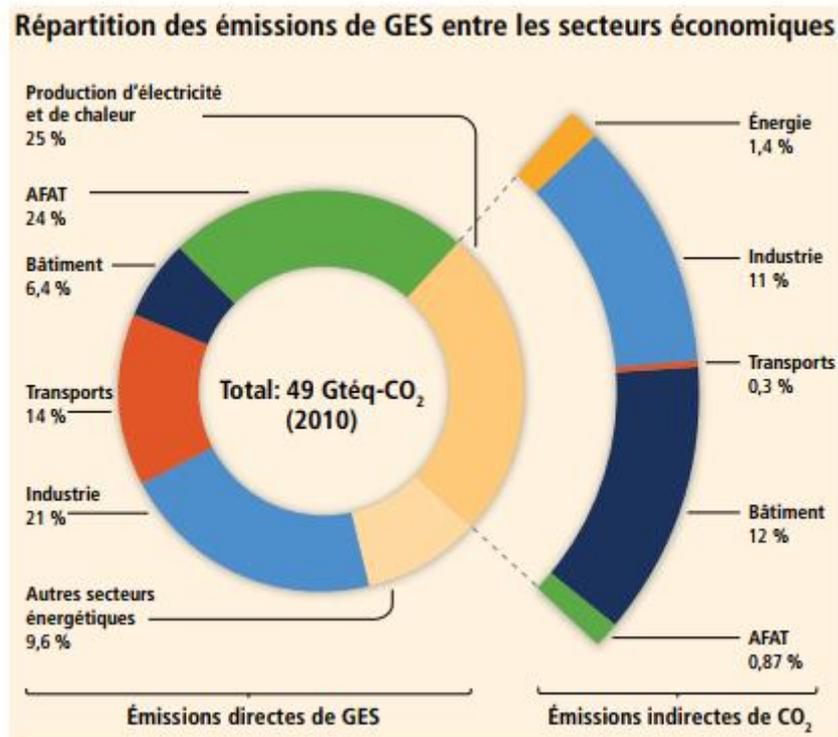
dû en grande partie aux activités agricoles anoxiques), (dont la biodégradation des nitrates agricoles dans les milieux souterrains sa concentration a augmenté de 20 % sur la même période. L'augmentation de l'effet de serre induit pour l'ensemble de ces trois composants est de 2,3 W/m<sup>2</sup>.

### I.1.1.2 Causes anthropique

Il est extrêmement probable que plus de la moitié de l'augmentation observée de la température moyenne à la surface du globe entre 1951 et 2010 est due à l'augmentation anthropique des concentrations de GES et à d'autres forçages anthropiques conjugués. L'estimation la plus probable de la contribution humaine au réchauffement est semblable au réchauffement observé sur cette période. La contribution des GES au réchauffement moyen en surface se situe probablement entre 0,5 °C et 1,3 °C au cours de la période 1951-2010, à quoi s'ajoutent les autres forçages anthropiques, dont l'effet refroidissant des aérosols, les forçages naturels et la variabilité naturelle interne. La somme de ces contributions estimées est cohérente avec le réchauffement observé, d'environ 0,6 à 0,7 °C, au cours de cette période.

Il est très probable que l'influence anthropique, en particulier les gaz à effet de serre et l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique, a entraîné un profil de réchauffement troposphérique détectable dans les observations et un refroidissement associé dans la basse stratosphère depuis 1961.

La figure ci-dessous montre les parts (en % des émissions anthropiques totales de GES) des émissions directes de GES attribuées en 2010 à cinq secteurs économiques. L'arc agrandi sur la droite indique la répartition (en % des émissions anthropiques totales de GES) des émissions indirectes de CO<sub>2</sub>, découlant de la production d'électricité et de chaleur entre les secteurs qui consomment l'énergie finale. La part attribuée aux autres secteurs énergétiques correspond à toutes les sources d'émission de GES dans le secteur de l'énergie, mis à part la production d'électricité et de chaleur. Les données relatives à l'agriculture, foresterie et autres affectations des terres, incluent les émissions de CO<sub>2</sub>, d'origine terrestre provoquées par les feux de forêt et de tourbière ainsi que par la décomposition dans les tourbières; elles se rapprochent des flux nets de CO<sub>2</sub>, attribués à la FAT (foresterie et autres affectations des terres).



**Figure I-2 : Répartition des émissions anthropiques totales de GES (gigatonnes d'équivalent-CO, par an, Gtq CO/an) entre les secteurs économiques en 2010.**

Il est aussi probable que les forçages anthropiques ont nettement contribué à l'augmentation du contenu thermique de l'océan superficiel (0-700 m) observée à l'échelle du globe depuis les années 1970.

Des éléments suggèrent une influence humaine dans certains bassins océaniques. Il est très probable que la contribution anthropique à l'élévation du niveau moyen des mers du globe depuis les années 1970 est importante. Ce résultat découle du degré de confiance élevé attribué à l'influence anthropique sur les deux principaux facteurs qui contribuent à l'élévation du niveau des mers: l'expansion thermique des océans et la perte de masse des glaciers. L'absorption par l'océan du CO<sub>2</sub> anthropique a entraîné une acidification progressive de ses eaux superficielles (GIEC, 2014).

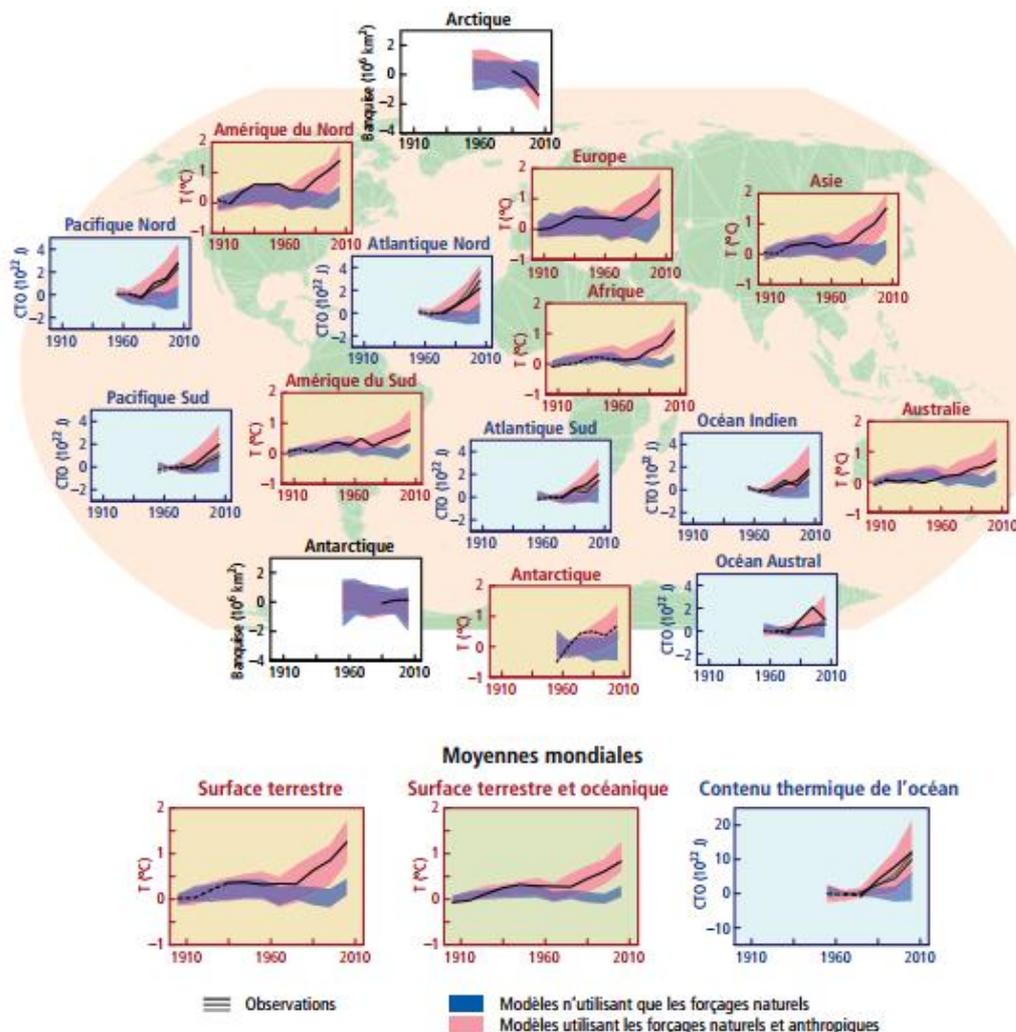


Figure I-3 : Comparaison des changements observés et simulés dans les températures.

### I.1.2 Les indicateurs du changement climatique

Aujourd’hui, l’un des sujets les plus brûlants de l’actualité est inévitablement lié au changement climatique, qui devient un phénomène de plus en plus préoccupant ; un nombre des indicateurs permettent d’observer et d’affirmer la survenance d’un tel changement sur la planète :

#### I.1.2.1 Hausse de Température

La hausse croissante des températures est l’un des premiers indicateurs de changement climatique, il existe un seuil normal de température en fonction de chaque région du globe et de chaque période prise en compte, lorsque ce seuil reconnu normal est largement dépassé, cela constitue une preuve concrète de changement climatique, cette hausse de température se manifeste par un réchauffement général de la planète, celui-ci peut atteindre des proportions très élevées, la hausse de la température à la surface de l’eau de l’est de l’océan Pacifique est un cas concret de hausse de température, une preuve de changement climatique selon les

experts mondiaux en climatologie, la hausse des températures est la conséquence directe de l'activité humaine engendrant une émission massive de gaz à effet de serre.

### **I.1.2.2 Montée des Eaux**

La montée des eaux est une conséquence directe du réchauffement climatique dû à la hausse des températures, cette augmentation des températures entraîne la fonte des glaciers, le volume d'eau est ainsi décuplé et par conséquent le niveau augmente.

### **I.1.2.3 Augmentation de la Concentration du Gaz à Effet de Serre**

Les principaux gaz à effet de serre notamment le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane et le protoxyde d'azote émanent essentiellement de l'activité humaine, ils constituent des éléments de réchauffement très actifs de la planète selon les chercheurs, à un certain seuil exprimé en partie par million (ppm), ils sont considérés comme normales, mais lorsque leur concentration augmente considérablement cela signifie que le changement climatique

### **I.1.2.4 Le Recul des Glaciers et Banquises**

Les glaciers et banquises désignent d'énormes blocs de glace situés majoritairement en Antarctique au Groenland et en Arctique, à l'origine ces blocs de glace recouvraient une très vaste étendue d'eau et possédaient une grande épaisseur, mais le réchauffement climatique a causé leur retrait suivi de dégel, ce phénomène de recul des glaciers est un indicateur de changement de température et par ricochet de climat.

### **I.1.2.5 La sécheresse**

La sécheresse est un phénomène qui provoque l'assèchement du sol, altérant le bon développement de la flore et de la faune grâce à la perturbation de la circulation normale des précipitations, donc pénurie d'eau ; la température élevée est également un facteur essentiel caractérisant la sécheresse prononcée, donc preuve de changements sévères ou drastiques des dommages climatiques.

### **I.1.2.6 Les inondations**

Plusieurs raisons expliquent la survenance des inondations, mais parmi elles, les chercheurs en climatologie pensent que le changement climatique est l'un des principaux facteurs déclenchant les inondations en plusieurs endroits de la planète. Pourquoi, selon des recherches récentes, le réchauffement climatique exacerbe les inondations et la régularité qui les provoque, ce qui permet de penser les crues comme changement climatique.

## **I.1.3 Les changements climatiques à l'échelle régionale (l'Algérie)**

Le Maghreb a été identifié comme une zone particulièrement vulnérable face aux risques liés au changement climatique. L'exode rural conjugué à l'urbanisation intense sur la côte méditerranéenne durant les dernières décennies ont augmenté la vulnérabilité des

populations concernées tout en accentuant les facteurs qui contribuent aux changements climatiques. En Algérie, pays dont la plus grande partie est désertique, les changements climatiques constituent une préoccupation majeure. En effet, de par sa position géographique, l'Algérie est exposée aux effets négatifs des changements climatiques et des émissions des gaz à effet de serre, notamment les inondations, la sécheresse et les températures élevées.

D'après des études réalisées par l'ONM sur l'évolution des températures, elles ont révélé que celles-ci sont en hausse depuis 1990, date du début des émissions à effet de serre. Concernant la pluviométrie en Algérie, l'étude fait ressortir un recul de 12% pour la période 1990-2005 en comparaison avec 1961-1990, causant une sécheresse à grande échelle au moment même où d'autres régions enregistrent des inondations dont celle de Bab El Oued en 2001 et dans la ville d'El Taref en 2012.

L'évolution des températures en Algérie montre une hausse sur l'ensemble du territoire au cours des saisons d'hiver et d'automne et une hausse nette des températures minimales et maximales dans toutes les stations de l'Algérie du Nord et se prolonge jusqu'à nos jours. Durant ces 20 dernières années, les températures maximales ont augmenté plus que les minimales (FARAH ABDELHAFID, 2014).

Quant aux précipitations, pour les mêmes périodes l'examen montre qu'en automne et en hiver, il y a diminution des pluies sur le Nord, et en printemps dans l'Est du pays. On peut donc conclure qu'entre les périodes 1931-1960 et 1961-1990 :

- la hausse de température a été de l'ordre de 0,5°C ;
- la pluviométrie a baissé en moyenne de 10% ;
- le déficit hydrique sera plus important à l'Ouest qu'au Centre et qu'à l'Est du pays (MATE, 2003). (FARAH ABDELHAFID, 2014)

### **I.1.3.1 Impact du changement climatique sur les eaux de surface**

La fréquence et l'intensité des sécheresses s'accroissent dans plusieurs régions à savoir le bassin Méditerranéen (IPCC 2014; Nouaceur et al. 2014). Cette augmentation est nettement observée dès les années 1970, où la sécheresse prend de l'ampleur en touchant différentes parties du monde (Taibi 2014; IPCC 2014; Amiar et al.2020 ; Zida et al. 2020). En Méditerranée depuis le milieu du 20ème siècle, Xoplaki et al. (2004) ont montré que les précipitations de la saison humide ont augmenté avec un maximum enregistré dans les années 1960 puis elles ont diminué, résultats obtenus suite aux analyses sur les tendances des précipitations pour la période 1950 à 1999.

Des études du climat méditerranéen montrent que les crues et les inondations seront plus fréquentes durant l'hiver sous l'effet du CC anthropique. Les inondations sont tributaires aussi des conditions du bassin versant (densité de drainage, pente du terrain, le type de sol, l'état de l'humidité du sol), le niveau d'eau dans les cours d'eau, le type et le taux de couvert végétale, le taux et le type d'urbanisation, l'existence de digues, barrages et/ou réservoirs (Bates et al. 2008; Mahé et al. 2013). Benito et al. (2020) indiquent que les petits bassins

versants de la région méditerranéenne sont très sensibles au changement des fréquences et amplitudes des inondations sous l'effet de CC.

Le deuxième impact très probable de changement climatique anthropique à la diminution des précipitations à travers le cycle hydrologique, accompagné par une forte évapotranspiration, qui entraîne une hausse en humidité du sol, et par conséquent, diminution en écoulement des cours d'eau et l'épuisement des eaux souterraines (Zeroual et al.2013; Meddi et Boucefiane 2013, 2014). Avec l'augmentation de la température et la diminution des précipitations qu'induisent les CC, il est révélé que les impacts de la sécheresse météorologique s'amplifient plus dans la sécheresse hydrologique (Wang et al. 2011). Zhou et al. (2009) confirment que l'effet combiné des CC avec le changement de la structure d'utilisation des terres affectent les caractéristiques du cycle hydrologique et entraînent une hausse très probable dans la sécheresse hydrologique (Khedimallah, 2021).

# *Chapitre II :*

---

PRESENTATION GENERALE DE  
LA ZONE D'ETUDE

## II. Présentation générale de la zone d'étude

Ce chapitre est consacré à la présentation d'une manière générale du bassin hydrographique Chélif-Zahrez, ce qui va nous permettre de déterminer les conditions hydro-climatologiques qui commandent le régime des écoulements essentiels par l'étude du comportement et les différents paramètres géologiques et hydrogéologiques influençant les ressources en eaux dans ce bassin.

### II.1 Domaine géographique et administratif de la zone d'étude

L'aire d'étude occupe une superficie totale de 56 227 Km<sup>2</sup>, qui représente plus de 22% de la superficie du nord de l'Algérie. Il fait partie des cinq (5) régions hydrographiques du territoire algérien.

La zone hydrographique Cheliff-Zahrez est située dans les parties centrales et occidentales du nord de l'Algérie, en partant de la mer Méditerranée au nord, avec un littoral de 200 kilomètres et des chotts de Zahrez au sud, délimités par 3° 50' E et 0° 08' O, 33° 53' S et 36° 34' N , le Bassin du Cheliff est drainé par l'Oued Cheliff le plus long fleuve d'Algérie.

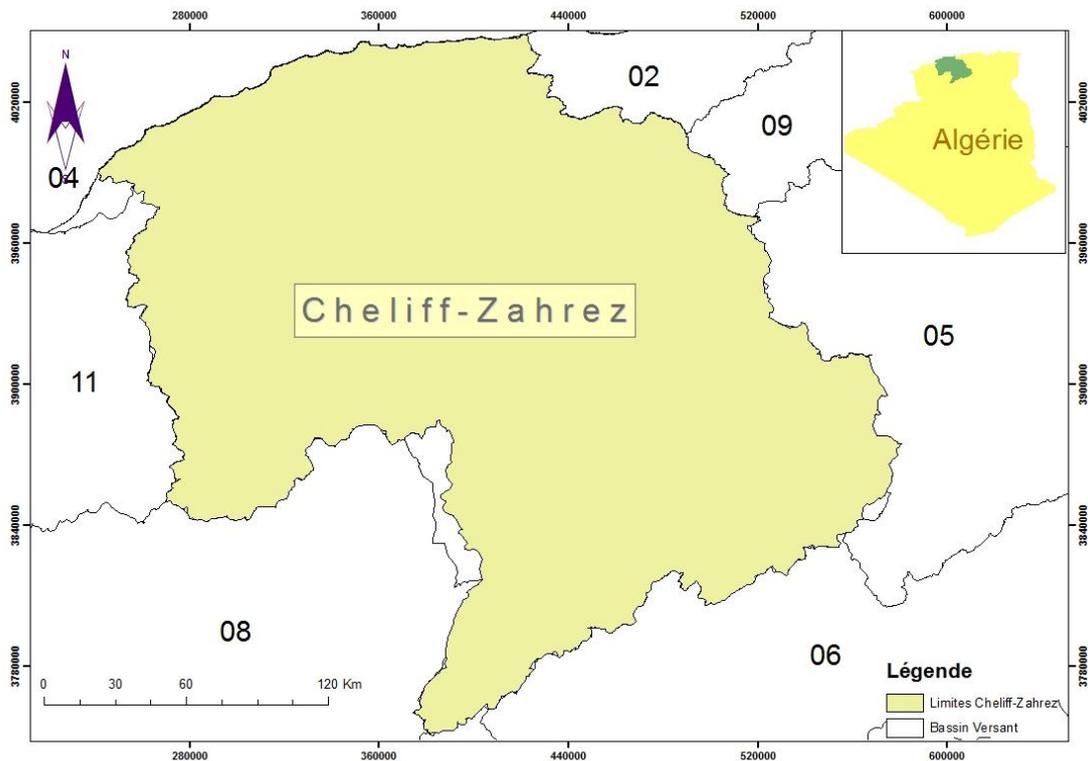


Figure II-1 : Situation géographique du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez

### II.1.1 Population

Selon l'RGPH 2008, la région Hydrographique Cheliff Zahrez comptait 5 221 801 habitants. Cette population est passée à 6 574 091 habitants en 2018. Elle atteindra en 2030 selon l'hypothèse tendanciel 8 054 391 habitants et 8 317 223 habitants pour le scénario volontariste. (PNE 2015, <http://www.abh-cz>).

La Figure suivante montre l'évolution de la population de la région d'étude par horizon et par scénario.

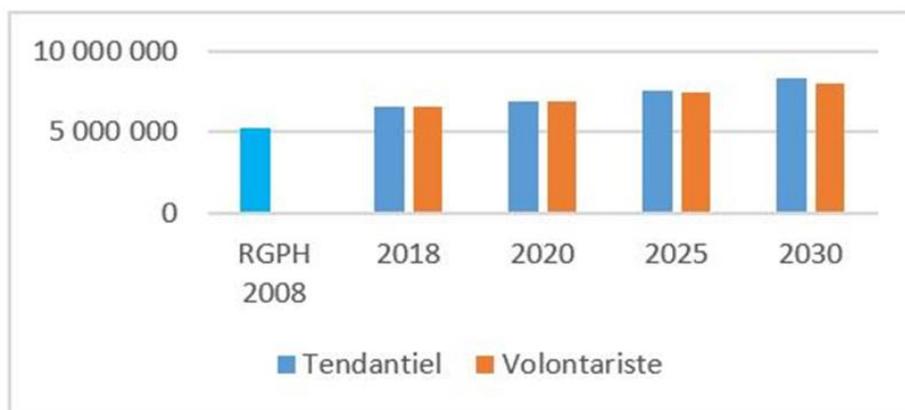


Figure II-2 : Evolution de la population par horizons et par scénario (PNE, 2015)

## II.2 Contexte hydro-climatologique

La quantification des apports en eau et leur distribution sont intimement liées aux différents paramètres du climat et à ceux qui régissent les partages multiples et successifs des eaux.

### II.2.1 Caractéristiques morphologique

Selon la délimitation hydrologique, l'air de la zone d'étude est composé de 03 Sous-bassins. Le côtier Dahra, Le Cheliff (le Cheliff est divisé en deux grand bassins : le Cheliff en aval du Barrage de Boughzoul et Cheliff en amont du Barrage de Boughzoul), ainsi que le bassin de Zahrez. Leur superficie varie de 3 202 kilomètres carrés (Côtier Dahra) à 44 035 kilomètres carrés (Cheliff) et 8 990 kilomètres carrés (Zahrez).

Ces grands bassins englobent plusieurs sous bassins versant :

- Côtier 03 sous bassins ;
- Aval Boughzoul 24 sous bassins ;
- Amont Boughzoul 12 sous bassins ;
- Bassin Zahrez 06 sous bassins.

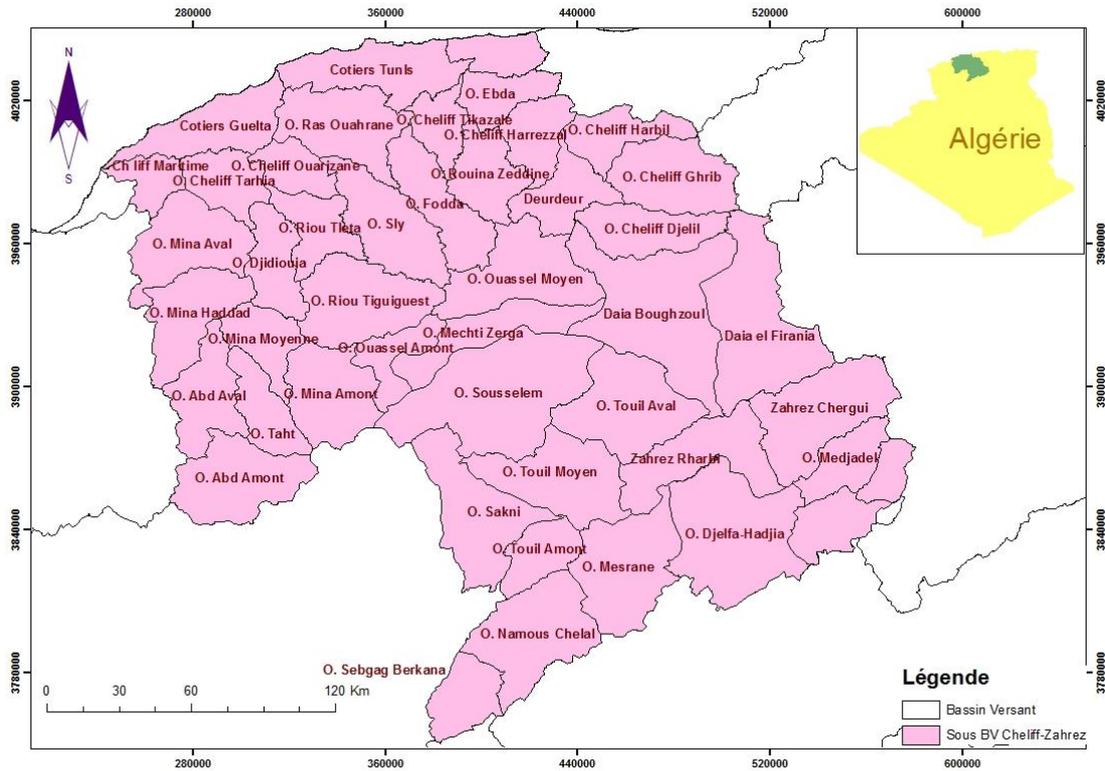


Figure II-3 : Sous bassins versant du grand bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez

### II.2.1.1 Paramètre de forme

La forme du bassin versant est transformée par l'indice de compacité avec pour effet Directement en amont:

Un bassin versant allongé ne réagira pas de la même façon qu'un bassin versant de forme ramassée (Roche 1963). L'indice de compacité (Kc) s'établit en comparant le périmètre stylisé du bassin (P) à celui d'un cercle qui aurait la même surface (A), Soit :

$$K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \tag{II.1}$$

Avec : Kc: Indice de compacité de Gravélius ; A : Surface du bassin versant [Km<sup>2</sup>] et P : Périmètre du bassin [Km].

- Kc= 1 bassin circulaire ;
- 1 < Kc < 1.12 bassin compact ;
- Kc > 1.12 bassin allongé.

Les valeurs d'indice de compacité obtenues pour les sous-bassins versants reflètent la forme allongée des sous-bassins versants, avec des valeurs de Kc variant entre 1,3 et 1,9 pour l'ensemble des sous-bassins versants du Cheliff (Tableau II.1).

### II.2.1.2 Rectangle équivalent

Le bassin versant rectangulaire est le résultat d'une transformation géométrique du bassin versant réel. On garde les mêmes paramètres de forme et donc la même distribution Épreuve élevée. Ce rectangle est défini pour comparer facilement les bassins entre eux, d'autant plus que les valeurs de  $K_c$  sur tous les sous bassins de la région d'étude sont supérieures à 1.12. Les dimensions du rectangle équivalent sont calculées par les formules II.2 et II.3:

$$L = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128 \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right]} \quad (\text{II.2})$$

$$l = \frac{K_c \sqrt{A}}{1.128 \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1.128}{K_c} \right)^2} \right]} \quad (\text{II.3})$$

L : Longueur du rectangle équivalent (Km) ; l : Largeur du rectangle équivalent (Km).

La comparaison entre les différents sous bassins versants de la région Cheliff Zahrez, en se basant sur les dimensions (longueur et largeur) du rectangle équivalent montre que, Pour tous les sous bassins versants, la longueur est de trois (03) fois la largeur ont confirmé que leur allongement favorise le lent écoulement des eaux de ruissellement, mais Cependant, cela dépend de la forme du relief.

**Tableau II-1 : Caractéristiques de formes des sous-bassins du Cheliff-Zahrez**

Region	Code	Sous Bassin	Superf. (Km <sup>2</sup> )	Périm. (Km)	Indice de compacité K <sub>c</sub>	Rectangle équivalent		
						Long. (km)	Larg. (km)	Rap. (L/l)
Cheliff à l'amont de Boughzoul	0101	Oued Sebgag Berkana	791	140	1.40	55.5	14.2	3.9
	0102	Oued Namous Chelal	1831	216	1.42	86.9	21.1	4.1
	0103	Oued Touil Amont	721	126	1.32	47.9	15.0	3.2
	0104	Oued Sakni	1675	245	1.96	106.9	15.7	6.8
	0105	Oued Touil Moyen	1667	218	1.51	90.6	18.4	4.9
	0106	Oued Touil aval	1797	205	1.36	79.8	22.5	3.5
	0107	Oued Soussalem	3005	284	1.46	116.2	25.8	4.5
	0108	Oued MechtiZerga	1074	226	1.94	102.5	10.5	9.8
	0109	Oued Ouassel amont	639	158	1.77	70.0	9.1	7.7
	0110	Oued Ouassel moyen	1638	239	1.67	103.7	15.8	6.6
	0111	Dait El Firania	2366	280	1.62	120.2	19.7	6.1
	0112	Diaa Boughouzoul	2818	340	1.81	151.6	18.6	8.2
Moyen et	0113	Oued Cheliff Djellil	1013	171	1.52	71.6	14.1	5.1
	0114	Oued Cheliff Ghrib	1379	176	1.33	67.4	20.5	3.3
	0115	Oued Cheliff Harbil	780	165	1.67	71.8	10.7	6.6
	0116	Oued Deurdeur	851	179	1.73	78.8	10.8	7.3
	0117	Oued Cheliff Harrezal	757	142	1.46	58.2	12.9	4.5

	0118	Oued Ebda	661	139	1.53	58.2	11.4	5.1
	0119	Oued Rouina Zeddine	891	165	1.56	69.7	12.8	5.4
	0120	Oued Cheliff Tikazel	588	151	1.76	66.9	8.8	7.6
	0121	Oued Fodda	1161	213	1.76	94.0	12.3	7.6
	0122	Oued Ras Ouahrane	1438	225	1.67	97.5	14.7	6.6
	0123	Oued Sly	1404	225	1.69	98.2	14.3	6.9
Bas Cheliff et la Mina	0124	Oued Cheliff Ouarizan	545	120	1.41	47.8	12.0	4.0
	0125	Oued Tiguiguest	1618	197	1.38	77.7	20.8	3.7
	0126	Oued RhiouTleta	787	178	1.79	79.0	9.9	7.9
	0127	Oued Djiouia	840	163	1.59	69.6	12.0	5.8
	0128	Oued Cheliff Tarhia	772	148	1.50	61.2	12.6	4.9
	0129	Oued Mina amont	1327	172	1.33	65.2	20.2	3.3
	0130	Oued Taht	772	148	1.50	61.5	12.6	4.9
	0131	Oued Mina moyenne	750	149	1.54	62.5	11.9	5.2
	0132	Oued Abd amont	1499	194	1.42	77.9	19.2	4.1
	0133	Oued Abd aval	1069	198	1.71	86.7	12.3	7.0
	0134	Oued Mina hadda	1251	193	1.54	81.1	15.4	5.3
	0135	Oued Mina aval	1434	202	1.51	84.1	17.0	4.9
	0136	Cheliff maritime	495	122	1.55	51.5	9.6	5.4
zahrez	1701	Oued Mesrane	1330	177	1,36	19,5	68,3	3,5
	1702	Oued Djelfa Hadjia	2223	253	1,5	21,4	104,1	4,8
	1703	Zahrez Rharbi	1936	258	1,64	17,5	110,4	6,3
	1704	Daiet Mefiteg	437,6	95,8	1,28	12,5	35,1	2,8
	1705	Oued Medjedel	1434	200	1,48	17,5	81,7	4,6
	1706	Zahrez Chergui	1628	213	1,48	18,7	87,0	4,6

### II.2.1.3 Relief

#### 1) *Les reliefs littoraux*

Les plaines et les bassins intérieurs varient en altitude, allant de 250 à 300 m dans le bassin supérieur du Cheliff, de 150 à 200 m dans le bassin moyen du Cheliff et de 60 à 150 m dans le bassin inférieur du Cheliff. Ces plaines sont à 20 à 70 kilomètres de la mer.

#### 2) *Les montagnes et plateaux*

Les montagnes et les plateaux sont des reliefs s'étendant de la Méditerranée au nord et des plateaux au sud. Ces montagnes présentent une chaîne plissée plus ou moins parallèle à la côte, avec une diversité morphologique considérable et une gamme d'altitudes, allant de 700 à 1200 mètres d'altitude, culminant à 1983 mètres au Kef Sidi-Ammar.

#### 3) *Les Hautes Plaines*

Il est limité par le bassin de Tissemsilt au nord du chenal Nahr Ouassel et le plateau du Sersou au sud de ce même chenal.

### II.2.1.4 Paramètres de relief

Le relief est le facteur essentiel dans la détermination de l'aptitude des terrains au ruissellement, à l'infiltration et à l'évaporation.

#### 1) Altitude

Pour le Cheliff en amont de Boughzoul, la dénivelé minimum varie entre 600 m (en aval de Oued Touil, Oued Sousslem, Oued Mechti Zerga, Dait el Firania et Diaa Boughzoul) à 1100 m (Oued Sebtag Berkana).

L'altitude minimale varie entre 100 m pour le centre et le haut Cheliff (Oued Sly et Oued Ouahrane) et 600 m (Oued Cheliff Djellil).

Pour Bas Cheliff et La Mina, l'altitude minimale varie entre 0 m (Cheliff Maritime) et 800 m (oued Abd Amont).

Pour le sous-bassin versant des Hautes Plaines du Cheliff en amont de Boughzoul, les altitudes maximales sont généralement élevées et elles varient entre 1200 mètres (Oued Mechti Zerga) et 1700 mètres (Oued Sebtag Berkana, Oued Namous Chelal et Oued Ouassel Central).

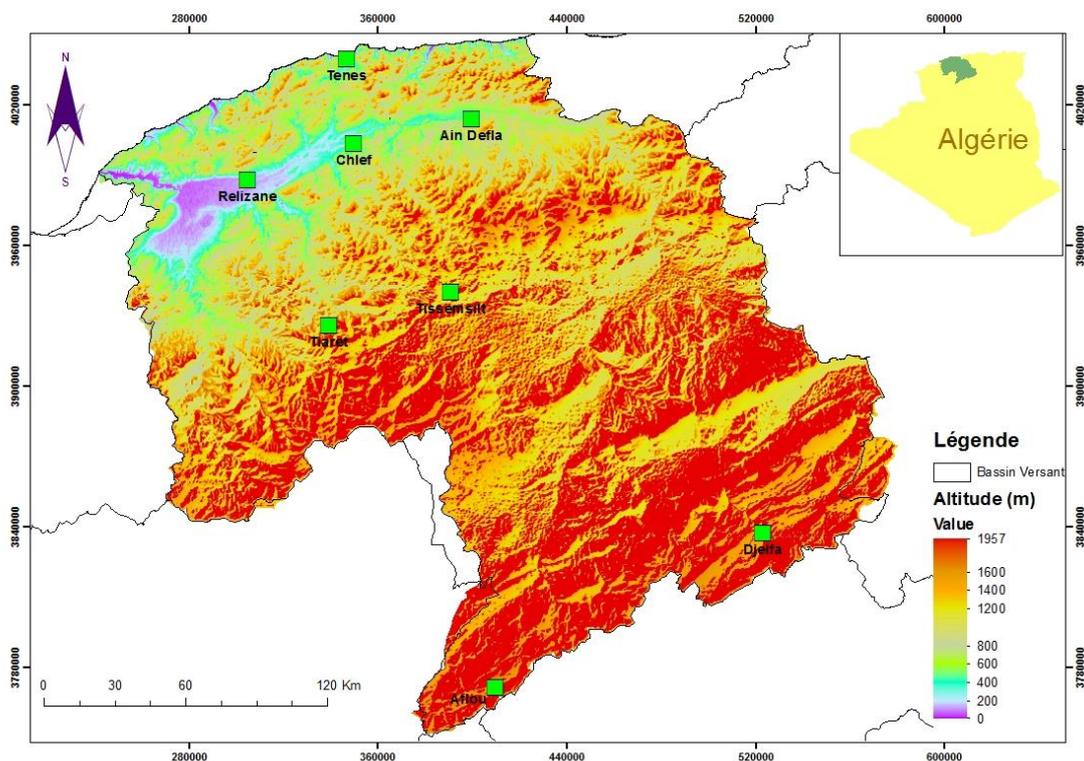


Figure II-4 : Carte de relief du bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez

L'altitude la plus élevée dans les bassins du Haut et moyen Cheliff est à 1100 m (Oued Cheliff Tikazel et Oued Ras Ouahrane) et 1800 m (Oued Cheliff Djellil, Oued Deurdeur et Oued Fodda), alors que dans le Bassin du Bas Cheliff et la Mina elle varie entre 700 m (Cheliff Maritime) et 1400 m (en amont de l'Oued El Abd)

2) Indices de pente  $I_g$ 

L'Indice de pente globale ( $I_g$ ) représente la pente moyenne de 90% de la superficie du bassin, il est obtenu à partir de la courbe hypsométrique à travers la dénivelée ( $D$ ) entre les altitudes  $H_{5\%}$  –  $H_{95\%}$ .

$$I_g \frac{D}{Lr} = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{Lr} \quad (\text{II.4})$$

Pour permettre une comparaison des bassins entre eux, on se basant sur la classification proposée par l'ORSTOM avec :

Cet indice, très facile à calculer, est des plus utilisés. Il sert de base à une des classifications de l'ORSTOM pour des bassins versants dont la surface est de l'ordre de 25 km<sup>2</sup>.

3) Dénivelée spécifique  $D_s$ 

L'indice  $I_g$  décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique  $D_s$  ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale  $I_g$  en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à  $\sqrt{A}$ .

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{(L \times l)} = D \sqrt{\frac{l}{L}} \quad (\text{II.5})$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ( $D = H_{5\%} - H_{95\%}$ ) et de la forme du bassin ( $l/L$ ).

Elle donne lieu à une deuxième classification de l'ORSTOM, indépendante des surfaces des bassins (Tableau II.2) :

**Tableau II-2 : Classification des reliefs selon l'ORSTOM**

Classe de relief	Type de relief	$D_s$ (m)
R1	Relief très faible	$D_s < 10$ m
R2	relief faible	$10 < D_s < 25$ m
R3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50$ m
R4	Relief modéré	$50 < D_s < 100$ m
R5	Relief assez fort	$100 < D_s < 250$
R6	relief fort	$250 < D_s < 500$ m
R7	relief très fort	$500 < D_s$

Les résultats obtenus indiquent que les plus fortes valeurs de la dénivelée spécifique ( $D_s$ ) concernent : (Tableau II.3)

- Les sous bassins du moyen et haut Chélif dont la catégorie du relief est forte et très forte ;
- Les sous bassins du bas Chélif et la Mina caractérisés par des reliefs assez forts et des reliefs forts ;

- Les valeurs les plus faibles de la dénivelée spécifique (Ds), correspondent aux bassins situés à l'Amont de Boughezoul.

Les sous bassins dont la catégorie du relief assez forte est à lier à la massivité des reliefs calcaires que l'on rencontre dans ces secteurs

**Tableau II-3 : Caractéristiques et classes de relief des sous-bassins du Cheliff-Zahrez (KHEDIMALLAH, 2021)**

Code	Sous bassins	S (km <sup>2</sup> )	Altitude max. (m)	Altitude min. (m)	Altitude moy. (m)	Lr Long.	Ig (m/km)	Ds (m)	Classe de relief
0201	Côtier Guelta	1 312,0	900	0	330	33.0	5,88	213	Relief assez fort
0202	Côtier Tenes	1 324,0	1200	0	395	34.0	6.8	247	Relief assez fort
0203	Côtier Cherchell	565.4	1300	0	400	19.0	18.18	432	Relief fort
0101	Oued SebtagBerkana	791	1700	1100	1410	55.4	7.2	203	relief assez fort
0102	Oued NamousChelal	1831	1700	900	1205	86.9	5.8	246	relief assez fort
0103	Oued Touil Amont	721	1300	800	1050	47.9	6.3	168	relief assez fort
0104	Oued Sakni	1675	1500	800	1130	106.9	3.7	153	relief assez fort
0105	Oued Touil Moyen	1667	1400	700	970	90.6	4.4	180	relief assez fort
0106	Oued Touil aval	1797	1300	600	870	79.8	6.3	265	relief assez fort
0107	Oued Sousselem	3005	1500	600	1000	116.2	6.0	330	relief fort
0108	Oued MechtiZerga	1074	1200	600	890	102.5	3.9	128	relief assez fort
0109	Oued Ouassel amont	639	1300	800	1000	70.0	4.3	108	relief assez fort
0110	Oued Ouassel moyen	1638	1700	700	950	103.7	4.8	195	relief assez fort
0111	Dait El Firania	2366	1500	600	840	120.2	4.2	202	relief assez fort
0112	Diaa Boughezoul	2818	1600	600	790	151.6	4.0	210	relief assez fort
0113	Oued Cheliff Djellil	1013	1800	600	900	71.5	14	445	relief fort
0114	Oued Cheliff Ghrib	1379	1600	500	870	67.3	13	496	relief fort
0115	Oued Cheliff Harbil	780	1300	300	600	71.8	11	311	relief fort
0116	Oued Deurdeur	851	1813	281	980	78.8	17	493	relief fort
0117	Oued Cheliff Harrezal	757	1600	300	575	58.2	19	520	relief tresfort
0118	Oued Ebda	661	1500	200	610	58.1	19	486	relief fort
0119	Oued RouinaZeddine	891	1700	200	640	69.6	19	557	relief tres fort
0120	Oued Cheliff Tikazel	588	110	200	370	66.8	10	254	relief fort
0121	Oued Fodda	1161	1800	200	785	94.0	15	507	relief tres fort
0122	Oued Ras Ouahrane	1438	1100	100	375	97.5	8	311	relief fort
0123	Oued Sly	1404	1700	100	710	98.2	14	534	relief tres fort
0124	Oued Cheliff Ouarizane	575	1000	75	275	47.8	15	363	relief fort
0125	Oued Tiguiguest	1618	1300	300	805	77.7	10	414	relief fort
0126	Oued RhiouTleta	787	1300	75	460	79.0	13	364	relief fort
0127	Oued Djiouia	840	1000	200	550	69.6	9	250	relief fort
0128	Oued Cheliff Tarhia	772	800	50	310	61.2	9	249	relief assez fort
0129	Oued Mina amont	1327	1300	600	1095	65.7	8	277	relief fort
0130	Oued Taht	772	1300	600	910	61.2	8	227	relief fort
0131	Oued Mina moyenne	750	1300	300	650	62.5	13	350	relief fort
0132	Oued Abdamon	1499	1400	800	1100	77.9	5	199	relief assez fort
0133	Oued Abd aval	1069	1300	300	775	86.7	9	302	relief fort
0134	Oued Mina hadda	1251	1200	100	490	81.0	11	393	relief fort
0135	Oued Mina aval	1434	900	50	345	84.0	8	293	relief fort
0136	Cheliff maritime	495	700	0	215	51.4	10	216	relief assez fort
1701	Oued Mesrane	1330	1600	800	1110	38.0	11.11	405	Relief fort
1702	Oued Djelfa Hadjia	1223	1600	800	1200	37.0	5.88	277	Relief fort
1703	ZahrezRharbi	1936	1500	800	950	37.0	5.32	234	Relief assez fort
1704	DaietMefiteg	437.6	1500	1100	1280	15.0	7.41	154	Relief assez fort
1705	Oued Medjedel	1434	1600	800	1200	29.0	4.55	172	Relief assez fort
1706	Zahrez Chergui	1628	1600	700	910	31.0	8.57	345	Relief fort

## II.3 Caractéristique hydro-climatique

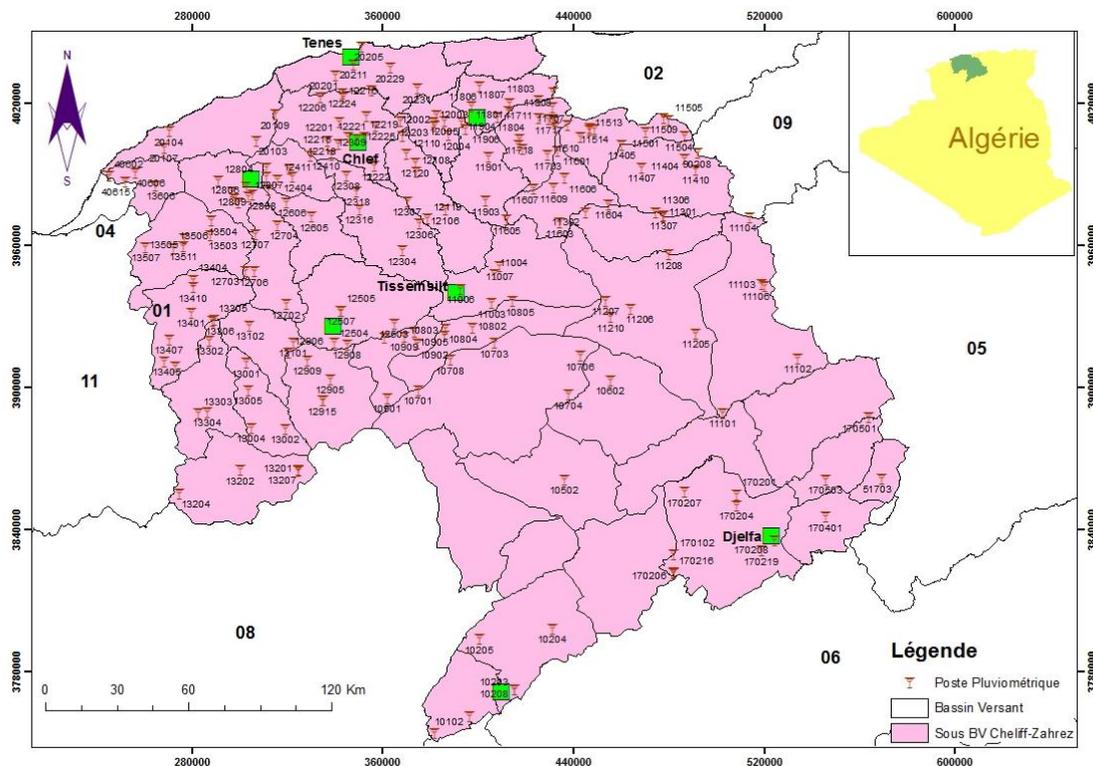
### II.3.1 Pluviométrie

Selon Legrain (2002), les précipitations sont définies comme le dépôt d'eau solide ou liquide dans l'atmosphère à la surface de la Terre sous diverses formes (pluie, brouillard, neige, grêle, rosée).

En hydrologie la connaissance des précipitations est essentielle car celles-ci conditionnent le fonctionnement du cycle de l'eau. Leur impact est notamment déterminant sur la disponibilité des ressources en eau: écoulements de surface, retenues d'eau naturelles ou artificielles, et nappes d'eau souterraines. A titre d'exemple, les gestionnaires de barrages hydroélectriques suivent en permanence l'évolution de la pluviométrie. Ce qui permet des prévisions pour la gestion optimale des barrages et des retenues d'eau. La pluviométrie est aussi, un facteur déterminant dans l'organisation de la vie des espèces animales et végétales. Ainsi, toute étude d'un écosystème nécessite la connaissance des conditions climatiques qui régissent leur équilibre.

#### II.3.1.1 Réseau pluviométrique

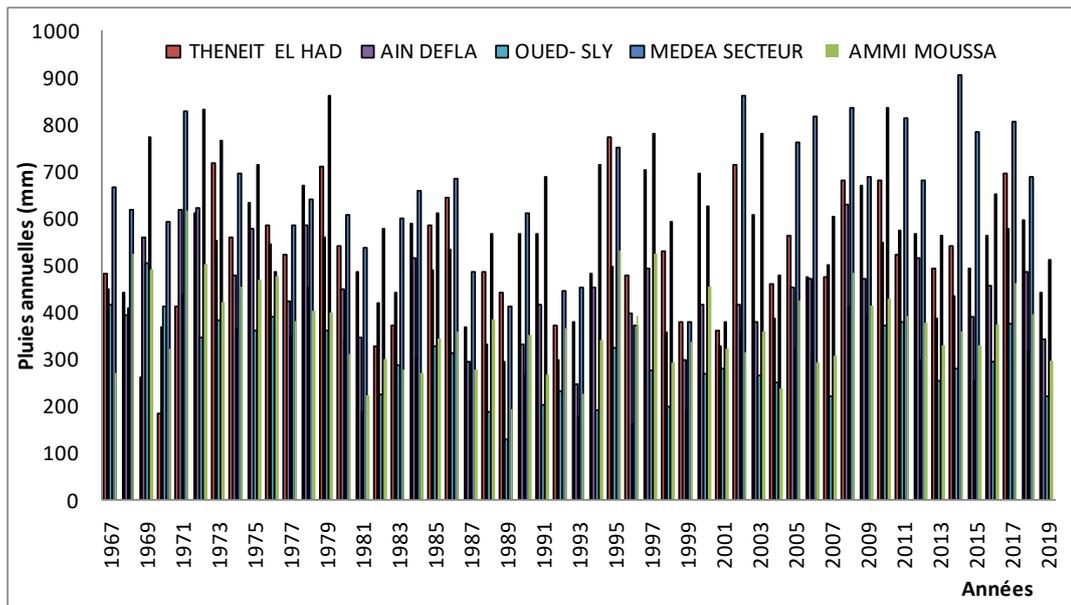
Le réseau pluviométrique de la région Chélif-Zahrez comprend plus de 200 postes, gérés par l'Agence Nationale des Ressources Hydr ulique (ANRH). Ces stations sont très inégalement réparties du Nord au Sud et de l'Ouest à l'Est de la région, la plus forte densité du réseau se rencontrant au Nord et moins dense à l'extrême Sud (figure II-4).



**Figure II-5 : Réseau pluviométrique du bassin hydrographique du Cheliff-Zahrez**

### II.3.1.2 Les précipitations annuelles

L'analyse des données pluviométriques annuelles enregistrées à travers la région d'étude entre 1967 et 2019, montre que les caractéristiques des séquences pluviométriques dans la région du Chélif sont quasiment identiques pour toutes les stations, mais les précipitations dans cette zone présentent de fortes irrégularités, le temps et l'espace sont légèrement différents.

**Figure II-6 : Evolution des précipitations annuelles dans le Bassin Cheliff-Zahrez (1967-2019)**

Tout au long de la période d'étude 1967 à 2019 :

- La valeur la plus basse a été enregistrée à la station Oued Sly en 1993, cette valeur est de l'ordre de 129.6 mm.
- La moyenne interannuelle enregistrée sur l'ensemble des stations est entre 300 mm et 650 mm, avec une valeur maximal de 902.9 mm enregistré dans la station Medea Secteur en 2015 et 772.5 mm dans la station Theniet El Had en 1996.

Comme on peut distinguer trois périodes bien distinctes:

- Une période humide avant 1980.
- Une période plus sèche caractérisée par une diminution de l'intensité des précipitations située entre le début des années 1987 au début des années 2000.
- Une reprise des précipitations d'une ampleur observée au début des années 2000 et du nouveau millénaire.

### II.3.1.3 Précipitations mensuelles

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles enregistrées au cours de la période d'étude a montré que toutes les stations pluviométriques présentent une saison de pluviosité allant d'octobre à avril, avec les précipitations les plus fortes enregistrées en janvier à 93.3 mm (Medea Secteur). Par contre enregistre des valeurs de précipitations faibles ou nulles durant les mois de juillet et août.

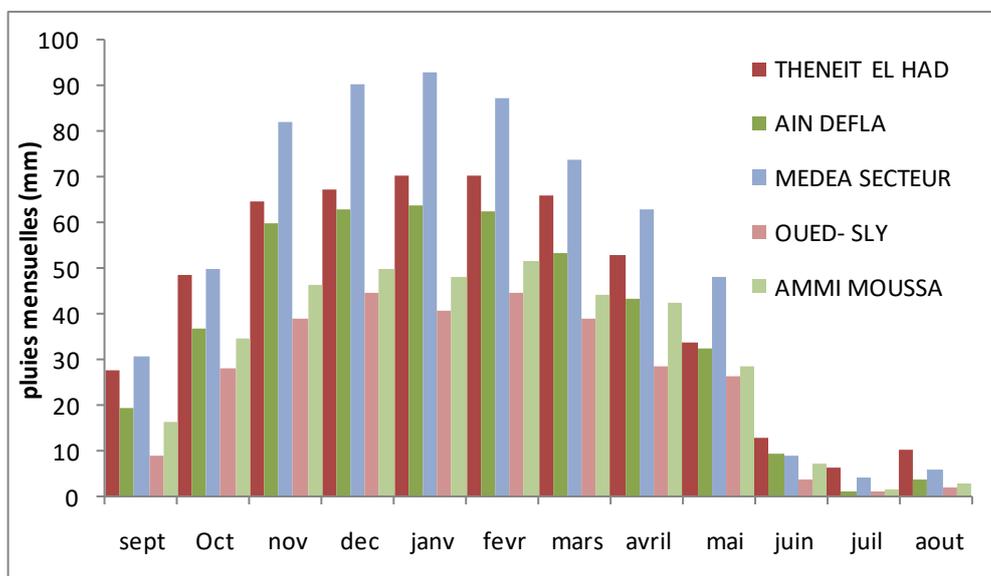


Figure II-7 : Evolution des précipitations moyennes mensuelles

### II.3.2 Température

Les données de températures moyennes mensuelles illustrées dans le tableau ci-dessous sont issues des données d'observations des stations de l'agence Nationale des Ressources hydraulique (ANRH).

Tableau II-4 : Températures moyennes mensuelles dans le bassin Cheliff zahrez

station	jan	fév	mar	avr	mai	jui	juil	aout	sep	oct	nov	dec	Annuelles		
													Moy	min	max
<b>Cheliff</b>	11	12	14	17	21	26	30	30	26	21	16	12	20	11	30
<b>Miliana</b>	9	10	13	14	19	24	27	27	23	18	13	10	17	9	27
<b>Ksar Chelalla</b>	9	9	13	17	22	28	32	31	25	20	13	9	19	9	32
<b>Tiaret</b>	9	10	13	15	19	25	29	28	24	19	14	10	18	9	29
<b>Relizane</b>	11	11	14	17	21	27	30	30	26	21	21	11	20	11	30

Les bassins haut et moyen Cheliff sont caractérisés par des températures moyennes variant de annuellement de 17°C en altitude à 20°C dans la plaine, avec des températures maximales mensuelles supérieures à 30°C enregistrées en juillet, un minimum mensuel de 9°C est enregistré en janvier.

Dans le bassin en Amont de Boughzoul, la température moyenne annuelle est de 19°C, la température mensuelle la plus élevée est de 32°C enregistrée généralement en mois de

juillet, par contre la température mensuelle minimale est de 11°C enregistrée en janvier. La température moyenne annuelle dans les basses plaines du Cheliff varie entre 18 et 20°C, elle atteint une valeur maximale de 30°C en mois de juillet et aout et une valeur minimale de 9°C en mois de janvier.

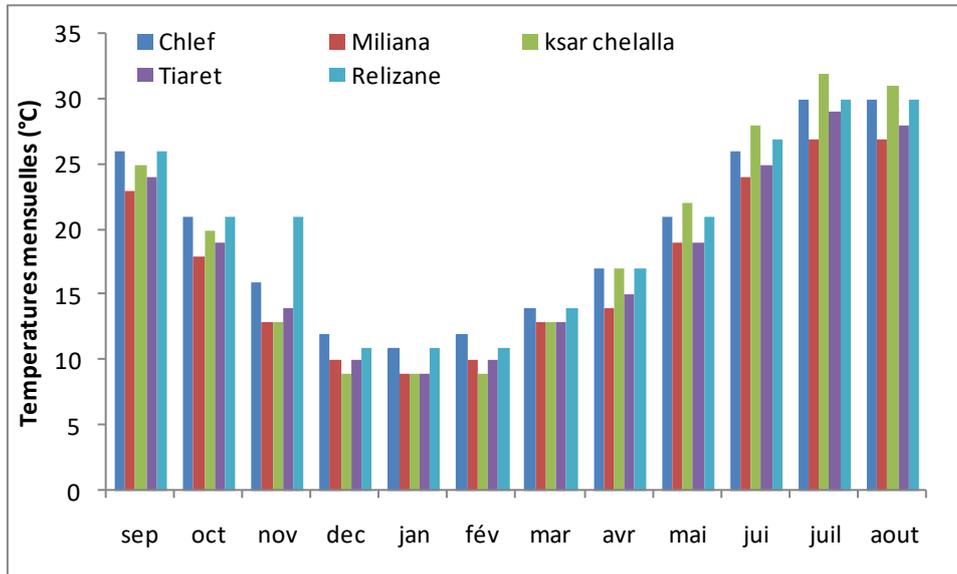


Figure II-8 : Evolution des températures moyennes mensuelles

### II.3.3 Le vent

Le vent est un facteur déterminant de l'état des précipitations, l'évapotranspiration et donc le climat. Également peut causer des dégâts important quand les vitesses frappent à très fort.

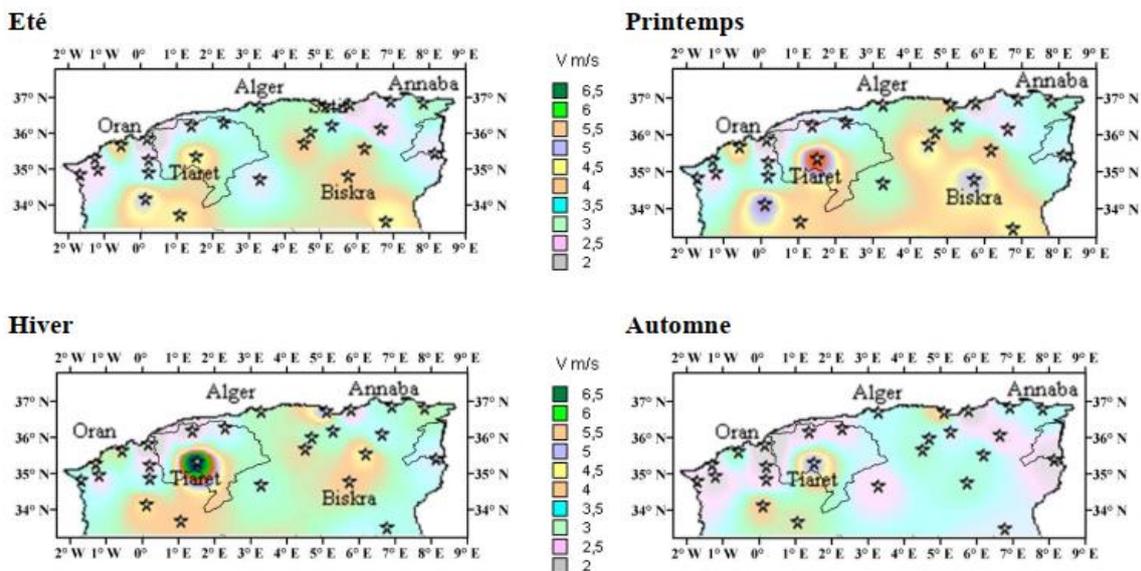


Figure II-9 : Cartes extraites de l'Atlas du vent saisonniers à 10 m du sol. (Eté, Printemps, Hiver et automne) (Kasbadji et al. 2000)

Pour le bassin du Cheliff en général, sont les hivers qui sont les plus venteux qu'à d'autres moments de l'année, avec des irrégularités dans leur distribution à travers le bassin. La vitesse du vent varie de 2 m/s à 5,5 m/s selon les saisons (Figure II.9). Les vents dominants viennent principalement de l'ouest et du nord-est. Sirocco (chaud et sec) Selon la direction WSW de l'ONM.

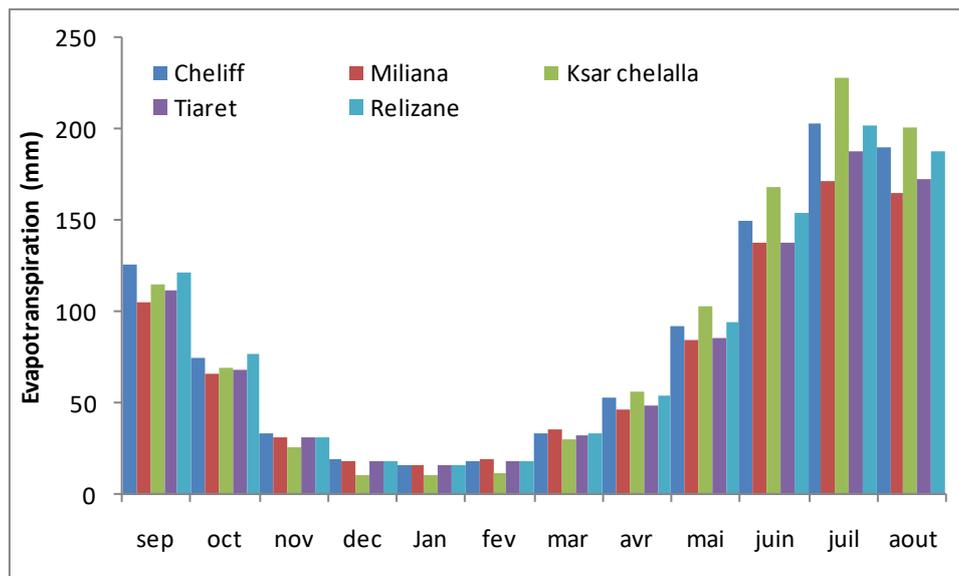
### II.3.4 L'évapotranspiration

Les valeurs d'évapotranspiration calculée à l'aide de la formule de Thornthwaite (Khedimallah, 2021), (Tableau II.5), montrent que les valeurs les plus importants de l'évapotranspiration sont enregistrées dans les vallées du Haut et Moyen Cheliff et du Bas Cheliff, où elle atteint 899 mm à 1013 mm, soit plus du double des précipitations totales.

**Tableau II-5 : Evapotranspiration mensuelles dans le bassin Cheliff Zahrez**

Station	Jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aout	sep	oct	nov	dec
Cheliff	16	19	34	53	92	150	203	190	126	75	34	20
Miliana	16	20	36	47	85	138	172	165	105	66	32	19
Ksar chelalla	11	12	30	57	103	169	228	201	115	70	26	11
Tiaret	16	19	33	49	86	138	188	173	112	69	32	18
Relizane	16	18	34	54	95	154	202	188	122	77	32	18

L'évapotranspiration moyenne annuelle dans le bassin amont Boughoul, atteint une valeur de 1035mm à la station Ksar Chellala (Figure II.10). Pendant la saison froide, l'ETP mensuelle diminue progressivement pour atteindre des valeurs inférieures aux précipitations.



**Figure II-10 : Evolution de l'évapotranspiration potentielle dans le bassin Cheliff-Zahrez**

### **II.4.5. Grêles et neiges**

De la grêle et de la neige presque chaque année, elles sont enregistrées en décembre, janvier, février et mai, couvrent généralement les zones situées au sommet.

## **II.4 Caractéristiques hydrographique**

### **II.4.1 Réseaux hydrographique**

Le bassin du Cheliff draine les apports de 36 sous-bassins, le sous-bassin Côtier Dahra 03, et le sous-bassin Zahrez 06, soit un total de 45 sous-bassins.

Le bassin du Cheliff est le confluent de deux grands fleuves : Oued Touil et Nahr Ouassel, avec des bassins de 16338 kilomètres carrés et 3651 kilomètres carrés respectivement, où la confluence forme l'Oued Cheliff.

Les voies navigables du Massif côtier du Dahra font plus de 100 kilomètres de long d'est en ouest, sur environ 30 kilomètres de large, face à la mer Méditerranée du nord au sud, avec des cours d'eau courts et des pentes abruptes (Oued Damous, Allala, Tarzoult et Kramis).

La dépression de Zahrez couvre 9102 km<sup>2</sup> et abrite des cours d'eau rares et souvent éphémères qui coulent vers le chott Zahrez Chergui (Oued El Medbouh) et le chott Zahrez Gharbi (Oued Hadjia et Mesrane) (Mehaiguene, 2004, Terrah et Bendjazia, 2015).

## **II.5 Couvert végétal**

L'occupation végétale a un impact direct sur le débit du fleuve, la topographie, le climat... Plus le couvert végétal est dense, plus la résistance au fleuve est grande.

Les forêts jouent un rôle considérable dans cette influence des régimes hydriques en région méditerranéenne.

La densité végétale dans le bassin côtier est élevée et devient de plus en plus faible vers le sud de la zone d'étude (Terrah et Bendjazia, 2015).

## **II.6 Contexte géologique et hydrogéologique du bassin Cheliff**

Les bassins sublittoraux de l'Algérie centro-occidentale et particulièrement le bassin du Chélif qui est en compression d'âge Mio-Plio-Pleistocène à axe de direction générale E-W. S'alignent parallèlement à la cote méditerranéenne formant des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent (Perrodon, 1957; Lepvrier et al., 1970). Ce sont des bassins néogènes dont l'histoire est étroitement liée aux phases finales de l'orogénèse alpine. Du point de vue structural ces bassins forment des sillons complexes plus ou moins continus s'allongeant suivant une direction générale WSW-ENE, entre les massifs secondaires plissés qui peuvent être assimilés en première approximation à des aires anticlinales majeures.

Le bassin du Cheliff qui évolue dans ce milieu est un bassin subsident de type intramontagneux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (F. Achour, 1997). Les ensembles lithologiques rencontrés dans la plaine sont les terrains néogènes et quaternaires (Fig. 15); le substratum, essentiellement secondaire sur les bordures du par: les monts de l'Ouarsenis au sud, du Dahra au nord et par les massifs epimetamorphiques a schistosites du Doui et du Temoulga a l'est (Figure II. 9).

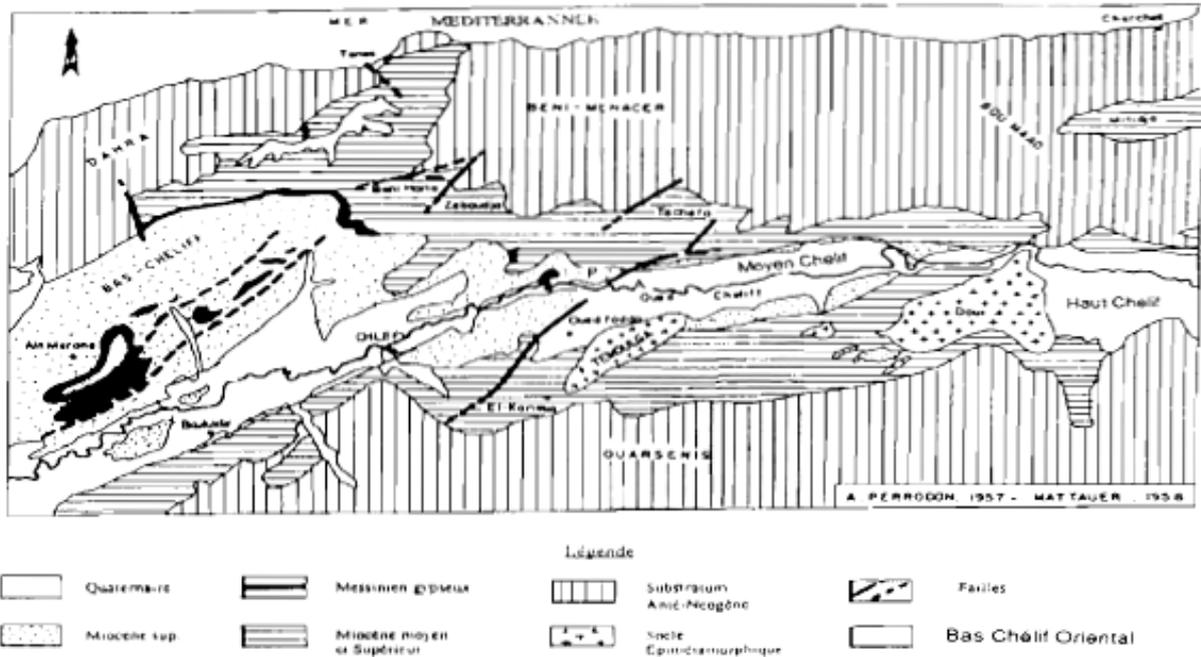


Figure II-11 : Cadre géologique de la plaine de Cheliff

### II.6.1 Stratigraphie

Dans tout le Tell occidental, depuis la vallée moyenne du Cheliff jusqu'au-delà d'Oran, le bassin maritime continue à exister alors que, partout ailleurs (ou à peu près), ne se forment que des dépôts continentaux, ceux du Pontien : ici, la Côte méditerranéenne englobe la majeure partie du Miocène supérieur, qui se termine par un épisode lagunaire.

Le Miocène inférieur du synclinal du Cheliff se relie, par des affleurements assez étroits et discontinus qui ravinent les chaînons crétacés et nummulitiques à celui qui s'est largement étalé aux environs de Ténès. En effet, la série des poudingues et grès atteint à elle-même plus de 200 m et les bancs gréseux, assez durs, présentent parfois à profusion des pectinidés, des bancs épais d'Ostracés associés à des Gastropodes et surtout des échinides : Clypeâstres de forme aplatie, des Polypiers ; de beaux gisements de Spongiaires siliceux ont été signalés au Djebel Beni bou Mileuk. Ces roches dures donnent lieu à un pays accidenté, presque montagneux et très boisé, qui contraste fortement avec la zone des marnes, déprimée et broussailleuse ou parfois cultivée ; en divers points ces couches marneuses sont criblées de veinules de calcite, remplissant une infinité de petites cassures, et elles deviennent schisteuses quand elles sont très laminées.

Sur la bordure sud, l'extension réelle du bassin cartennien n'est plus visible que sur quelques points (Oued Fodda). La succession la plus fréquente des assises présente, au dessus des conglomérats littoraux de la base, des grés avec lits marneux, échinides et parfois des lentilles de calcaires à polypiers.

A partir de l'Oued Sly, une bande cartennienne importante s'intercale entre les montagnes crétacées et nummulitiques et le Miocène moyen des bassins du Rhiou et de la Mina ; ses caractères sont peu différents.

Le Miocène moyen pénètre, à partir de Duperré, dans la plaine de Cheliff et dans les coteaux du Tsiraout, qui la bordent au sud, ses dépôts prennent un faciès spécial : les argiles helvétiques sont gypseuses, et vers leur partie supérieure, on y voit une couche blanche de calcaire micacé, d'aspect tufeux.

Depuis l'Oued Sly, commence à se montrer, dans le Miocène moyen, des grés calcaires à Hétérostégines ; vers l'Ouest, ils passent à des calcaires francs, massifs, fissurés, riches en Lithothamnium.

Au nord de la rivière, le synclinal miocène se relève contre la chaîne secondaire. L'helvétien y ravine tous les terrains antérieurs et repose en discordance sur le Cartennien dans le Tachta et les monts de Ténès, au bord desquels il s'étale dans le bassin de Abou Hassen et de Montenotte ; sur plus de 200m, c'est toujours la même succession de marnes très argileuses, grises, parfois tapissées d'efflorescences salines (sulfate de sodium et de magnésium). Dans tout le Dahra qui s'amorce sur cette feuille, l'étage argileux donne des terres cultivables tandis que les grès ou les calcaires tortoniens correspondent à des croupes broussailleuses ou boisées.

A l'Ouest de Ténès et à partir de la moyenne vallée du Cheliff, le Miocène supérieur apparaît et se termine par des formations lagunaires.

Au dessus des grés ou des calcaires on voit reparaître, d'après Brives, des marnes blues argileuses : c'est là qu'on trouve la « faune de Carnot ».

Parfois, au sud de Abou Hassen par exemple, les marnes sahéliennes se chargent de silex dits ménilites ; c'est l'horizon des tripolis à Diatomées, qui prend une grande extension à l'Ouest. Dans cette direction, depuis le massif des Ouled Farès, le faciès de Carnot passerait à des marnes blanches et qui contiennent des silex à tous les niveaux.

Sur le flanc nord des Medjadja apparaissent, vers le haut, des bancs gypseux et qui se développent encore davantage dans tout le Dahra.

## II.6.2 Principales Formation Géologiques

De nombreuses formations géologiques contiennent des eaux souterraines, les plus anciennes sont attribuées au jurassique et les récentes correspondent aux alluvions Quaternaire (ABH C-Z) .

Les conditions paléogéographie étant très variables, les formations aquifères ont une extension limitée. La lithologie permet de regrouper les formations géologiques de la manière suivantes :

- Des calcaires parfois dolomités où les circulations favorisées par la fissuration ou l'érosion Karstique tel que les calcaires liasiques du Zaccar éminemment perméables (près de tiers des précipitations s'y infiltrent), de Rouina et Temoulga. De même les calcaires turoniens constituent de bons réservoirs lorsqu'ils sont fissurés.
- Les calcaires à Lithothaminés du Miocène supérieur.
- Des grès plus ou moins consolidés du Barrémiens et de l'Albiens dans la plaine de Ain Oussera, et du Calabriens sur le Plateau de Mostaganem.
- Des dépôts détritiques à perméabilités variables tels les grès et poudingues du Miocène, les sables, les galets, les graviers et les poudingues du Pliocène et du Quaternaires.
- Des alluvions récentes du Quaternaire souvent argilo-limoneuses et peu favorables à l'infiltration.
- Les alluvions grossières acheminées de certains secteurs du Haut, Moyen et Bas cheliff.

Des formations imperméables ou très peu perméable représentant la majorité des dépôts de la région (séries crétaées et tertiaires du Dahra, de l'Ouarsenis).

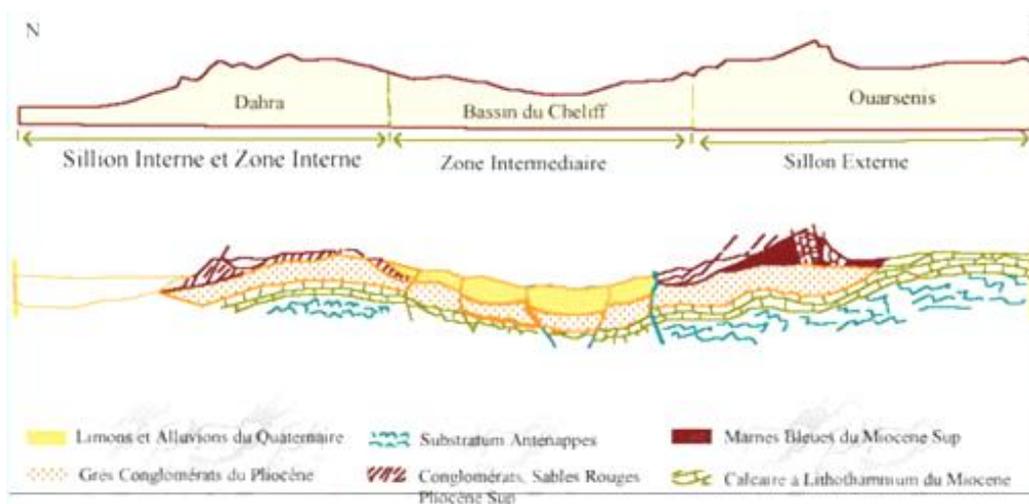


Figure II-12 : Coupe géologique dans le bassin Cheliff Direction Nord-Sud

### II.6.3 Principales Unités Hydrogéologiques

- La plaine du haut Cheliff est constituée d'alluvions grossières, occupe une superficie de 376 km<sup>2</sup>.
- La plaine du moyen Cheliff est constituée par des calcaires jurassiques très perméables, occupe une superficie de 394 km<sup>2</sup>.
- La formation aquifère du massif de Doui est formé de schistes et quartzistes du prémaire avec quelques compartiments de calcaire jurassique ainsi l'aquifère principal du djebel Rouina et djebel Temoulga constitué du calcaire jurassique.

- La plaine alluviale du Bas Chelif entre Chlef (ex. El Asnam) et Boukadir forme un réservoir aquifère plio-quadernaire constitué essentiellement par une épaisseur de sables et graviers allant de 10 m en rive gauche jusqu'à 350 m en rive droite avec de nombreuses intercalations argileuses.
- Les principaux aquifères de la plaine de Nahr Oussel et oued Touil sont les alluvions quadernaires, les calcaires turoniens et les grés albiens.
- Deux nappes principales sont distinguées dans la plaine Mina, la nappe phréatique quadernaire et la nappe des grés de l'astien.
- La plaine de Ain Ouassera est constituée de calcaires du quadernaire et des alluvions sableuses récentes, des calcaires fissurés et les dolomies du jurassique.
- La formation aquifère du plateau de Médea est constituée de grés à perméabilité de fissure.

# *Chapitre III :*

---

MATERIELS ET METHODE DE  
TRAVAIL

### III. Matériels et méthodes de travail

#### III.1 Données utilisées

Les facteurs climatiques sont connus par leur grande importance dans la détermination des ressources en eau et leur abondance. Egalement, les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat. Caractériser l'impact de la variabilité climatique sur les événements pluviométriques extrêmes devient alors indispensable pour proposer des solutions adaptées aux projets de développement. Cependant, les données climatiques sont importantes à évoquer dans ce travail. Les données des précipitations journalières, sont obtenues auprès de l'Agence Nationale des ressources Hydraulique (ANRH).

#### III.1.1 Réseau de mesure pluviométrique de la région d'étude

Les stations pluviométriques sélectionnées afin d'atteindre l'objectif de cette étude, ont été choisies de façon à avoir l'information nécessaire pour cette étude, de point de vue longueur des séries d'observation et de la répartition spatiale de ces stations. Cependant, tenant compte des facteurs déterminants de la répartition des champs pluviométriques à l'échelle de la région du Chélif-Zahrez; les différentes stations assez régulièrement réparties à travers l'espace étudié, comme le montre la figure III-1.

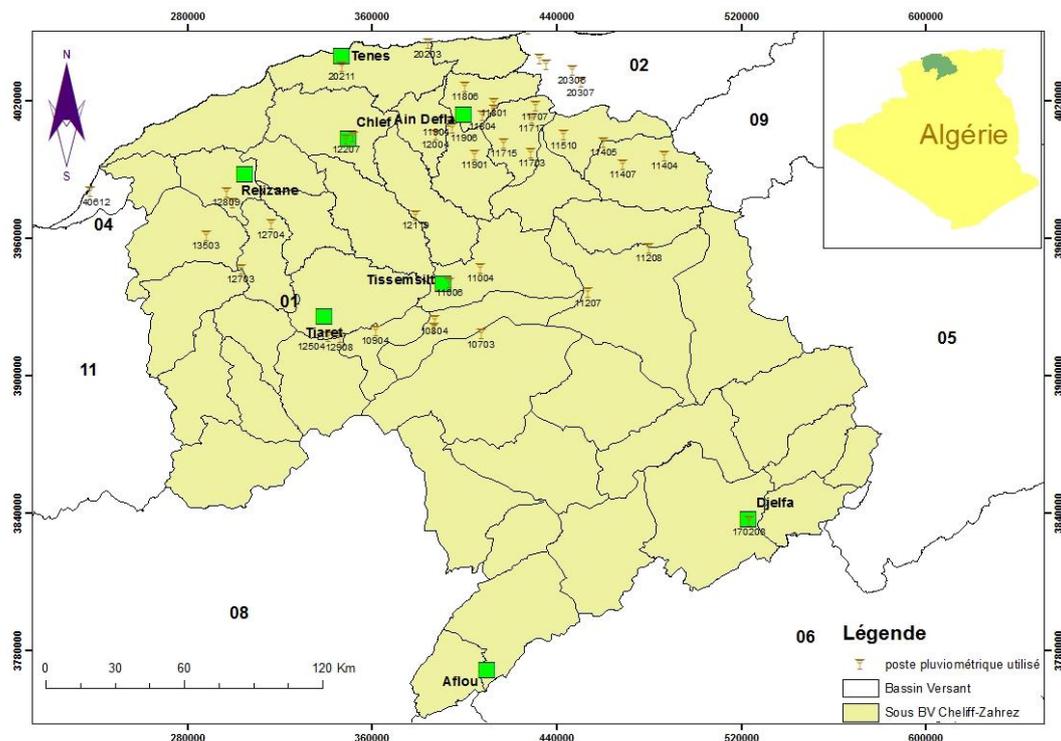


Figure III-1 : Stations pluviométriques utilisées

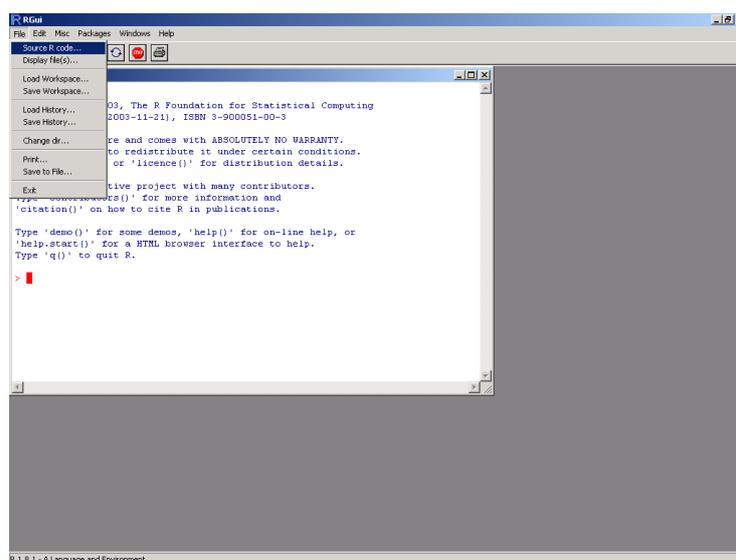
## III.2 RClimDex

Le RClimDex est développé par Xuebin Zhang et Feng Yang en 2004 au sein de Direction de la recherche climatique du Service météorologique du Canada. Initialement connu sous le nom de ClimDex c'était un programme basé sur Microsoft Excel qui fournit un progiciel facile à utiliser pour le calcul des indices des extrêmes climatiques pour la surveillance et la détection des changements climatiques. Ce dernier été développé par Byron Gleason au National Climate Data Center (NCDC) de la NOAA, et a été utilisé dans les ateliers CCI/CLIVAR sur les indices climatiques à partir de 2001. L'objectif initial était de porter ClimDex dans un environnement qui ne dépend pas d'un système d'exploitation particulier. Il était très naturel d'utiliser R comme plateforme, car R est un logiciel gratuit et pourtant très robuste et puissant pour l'analyse statistique et les graphiques. Il fonctionne sous les environnements Windows et Unix. Cela a rendu plus intéressant le développement de ce package basé sur R. Ainsi, RClimDex est apparu en 2004 dans sa première version RClimDex (1.0).

RClimDex (1.0) est conçu pour fournir une interface conviviale pour calculer les indices des extrêmes climatiques. Il calcule les 27 indices de base recommandés par l'équipe d'experts CCI/CLIVAR pour la surveillance et les indices de détection des changements climatiques (ETCCDMI) ainsi que d'autres indices de température et de précipitations avec des seuils définis par l'utilisateur.

### III.2.1 Téléchargement et installation de RClimDex

Après téléchargement de RClimDex à partir du site Web ETCCDMI en entrant la source ("<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/RClimDex/rclimdex.r>"), comme il peut être chargé directement à partir du menu déroulant. Choisissez le "Fichier" dans le menu RGui, puis sélectionnez "Code source R" (figure III.2). Cela apportera une nouvelle fenêtre contextuelle dans laquelle vous pourrez sélectionner notre code source R "rclimdex.r" dans le répertoire où le programme a été enregistré.



III : Présentation du menu déroulant du logiciel R

Une fois le code source chargé avec succès, le menu principal de RClmDex apparaîtra (figure III.3).

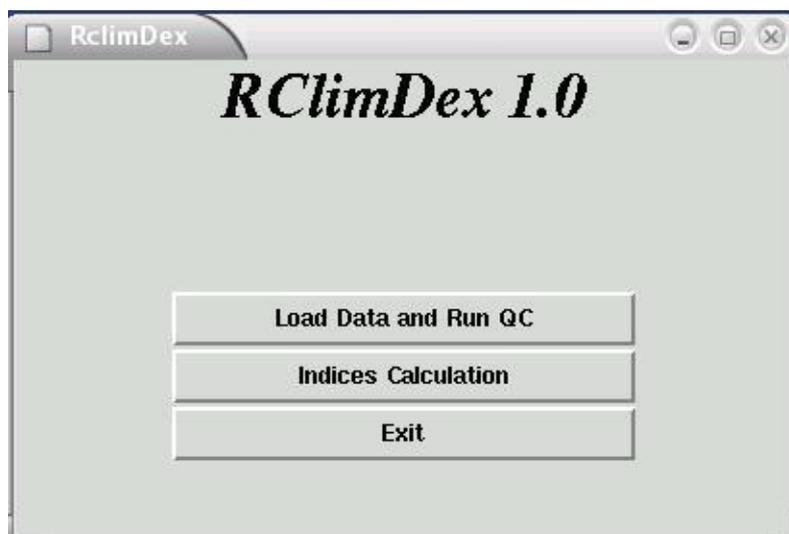


Figure III-2 : Présentation du RClmDex

RClmDex exige un contrôle de la qualité des données préalable aux calculs d'indices. Ensuite, vient l'étape de "Calcul des indices" dans le menu principal, l'utilisateur est invité à configurer certains paramètres pour le calcul des indices. La fenêtre "Définir les valeurs des paramètres" figure (III.4), permet à l'utilisateur d'entrer la première et la dernière année de la période de base pour le calcul du seuil, la latitude de la station (l'hémisphère sud est négatif) .... Cette étape comprend un traitement de données, il faudra donc quelques secondes pour terminer.

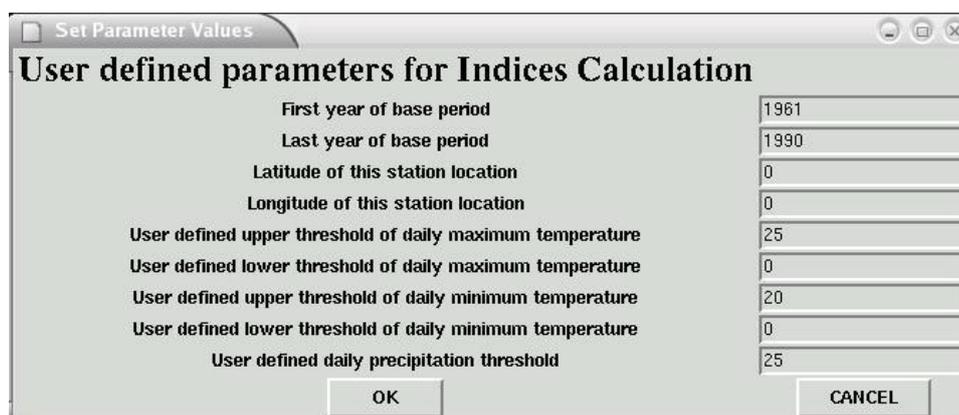


Figure III-3 : Fenêtre définissant les paramètres d'entrée du RClmDex

Une fois cette étape terminée, une fenêtre apparaîtra pour permettre à l'utilisateur de sélectionner les indices souhaités pour le calcul figure (III.5).

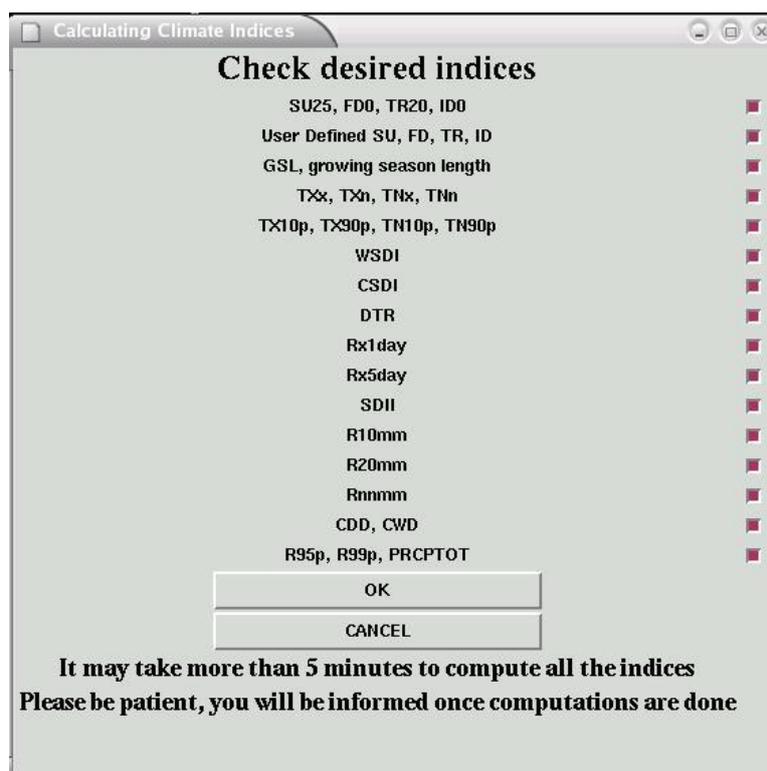


Figure III-4 : Fenêtre permettant la sélection des indices climatiques

Les séries d'indices qui en résultent sont stockées dans un sous-répertoire appelé indices au format Excel. Aux fins de visualisation, les séries annuelles sont tracées, ainsi que les tendances calculées par les moindres carrés linéaires (ligne continue) et la régression linéaire pondérée localement (ligne pointillée). Les statistiques de l'ajustement de la tendance linéaire sont affichées sur les tracés. Ces plots sont stockés dans un sous-répertoire appelé plots au format JPEG.

### III.3 Méthodes de travail

Pour atteindre l'objectif de notre étude sur la détection de changements de tendances ou ruptures dans les séries climatiques des événements extrêmes, il est nécessaire de suivre la démarche suivante: préparation d'un jeu de données, analyse exploratoire, mise en oeuvre de tests statistiques appropriés et interprétation des résultats Kundzewicz et Robson (2004).

L'approche adoptée pour atteindre les objectifs tracés dans ce travail, comporte les opérations suivantes:

- Analyse des tendances dans les séries chronologiques annuelles.
- Mise en évidence du changement climatique par les calculs des certains indices.

### III.3.1 Analyse des tendances dans les séries chronologiques.

#### III.3.1.1 Les moyennes mobiles

Les moyennes mobiles ou filtres linéaires des séries chronologiques, permet de lisser une série temporelle, en gardant la tendance et en supprimant la saisonnalité pour ensuite procéder à l'estimation de ces deux composantes.

Ces outils font partie des premières méthodes pour l'analyse des séries chronologiques. Il semble que le physicien Poynting soit le premier, en 1884, à avoir utilisé les moyennes mobiles pour éliminer les variations accidentelles ou périodiques d'une série. Puis à partir de 1914, les grands personnages de la statistique tels que Student, Pearson et Yule par exemple, s'intéressent à ce genre de problèmes.

La moyenne glissante, ou moyenne mobile trouve son application dans l'analyse des séries temporelles de données en permettant la suppression des fluctuations de façon à en souligner les tendances sur le long terme. Cette moyenne est dite mobile parce qu'elle est recalculée de façon perpétuelle, dès lors qu'une nouvelle donnée intègre la série en venant remplacer la plus ancienne, modifiant ainsi la date de référence. Cette façon de faire tend à lisser le phénomène étudié en noyant les valeurs extrêmes dans une masse de données davantage représentative d'une tendance moyenne.

#### III.3.1.2 Test de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall (Mann 1945, Kendall 1975) est un test non paramétrique permettant de tester la stabilité de la moyenne et de la variance des séries d'indices climatiques sur une période donnée. Ce dernier est utilisé pour détecter d'éventuelles tendances dans les séries d'indices climatiques. Ce test est le résultat d'une amélioration du test établi par Mann (1945) puis repris par Kendall (1975) et ensuite optimisé par Hirsch (1982) de façon à prendre en compte une composante saisonnière. Les tests de Mann-Kendall s'appuient sur le calcul du Taux de Kendall mesurant l'association entre deux échantillons et lui-même basé sur les rangs à l'intérieur des échantillons. Donc, deux hypothèses sont analysées ; l'hypothèse nulle  $H_0$  du test c'est l'hypothèse qu'il n'y a pas de tendance et l'hypothèse alternative  $H_1$ , elle comprend trois hypothèses alternatives de tendance négative, non nulle ou positive.

##### 1) Principe de calcul du Test de Mann-Kendall

Il s'agit d'une procédure dans laquelle on compare chaque indice de la série de base avec les indices précédents. Soit  $(X_1, \dots, X_n)$  un échantillon de valeurs indépendantes issu d'une variable aléatoire  $X$  dont on cherche à évaluer la stationnarité. L'hypothèse nulle  $H_0$  est l'hypothèse de stationnarité de la série (absence de tendance).

L'hypothèse alternative  $H_1$  correspond à la non stationnarité de la série. La statistique de Mann-Kendall est définie comme suit:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signe}(X_i - X_j)$$

où  $X_i$  et  $X_j$  sont les valeurs séquentielles des données et  $n$  la longueur de l'ensemble des données. La statistique du test est calculée en dénombrant, pour tous les couples  $(X_i, X_j)_{i < j}$ , le nombre de cas où la seconde valeur est supérieure à la première et le nombre de cas où la seconde est inférieure, puis en faisant la différence entre ces deux quantités. La présence d'une tendance statistiquement significative est évaluée en utilisant la valeur de  $Z$  :

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases}$$

En présence de valeurs identiques dans la série, la variance de  $S$  peut être définie comme suit :

$$\text{var}(S) = n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)/18$$

où  $t_i$  désigne le nombre d'égalités impliquant  $k$  valeurs.

Une valeur positive (négative) de  $Z$  indique une tendance ascendante (descendante) et sa significativité est comparée à la valeur critique  $\alpha$  ou seuil de significativité du test.

### III.3.1.3 Test basé sur les écarts cumulés

Le test basé sur les écarts cumulés (CS) sert à détecter une rupture au niveau des paramètres statistiques (moyenne et variance) des séries d'indices climatiques. Cette procédure non paramétrique basée sur le rang examine si les moyennes des deux parties de la série des indices sont différentes pour une date de rupture inconnue (Chiew et McMahon 1993). Ainsi, dans chacune des parties de la série, le test des Ecarts cumulés vérifie si l'évolution des indices par rapport à la médiane est identique ou non. La statistique du test est calculée à partir de la somme cumulée de la fonction « signe » de la différence entre les valeurs observées et la médiane (Karpouzou et al. 2010). L'expression de la statistique du test des écarts cumulés est définie comme suit (Hamdi et al. 2009) :

$$CS_k = \sum_{i=1}^k \text{signe}(X_i - X_m) \text{ où } k = 1, \dots, n$$

$$\text{signe}(X_i - X_m) = \begin{cases} +1 & \text{pour } (X_i - X_m) > 0 \\ 0 & \text{pour } (X_i - X_m) = 0 \\ -1 & \text{pour } (X_i - X_m) < 0 \end{cases}$$

où  $X_i$  est l'indice pluviométrique de rang  $i$  et  $X_m$  est la médiane de la série de données.

Une estimation de l'instant de rupture est donnée par l'expression suivante :

$$\hat{k} = \text{Arg max} |CS_k| \quad k = 1, \dots, n - 1$$

La statistique maximale en valeur absolue du test des écarts cumulés correspond à l'emplacement le plus probable de la date de rupture (Radziejewski et Kundzewicz 2000). La loi de la statistique du test des écarts cumulés,  $CS_k$  suit celle de la statistique de Kolmogorov-Smirnov à deux échantillons ( $KS = 2/n \max |CS_k|$ ) (Chiew et Siriwardena 2005).

### III.3.1.4 Indices climatiques

l'Organisation Mondiale de Météorologie dans le cadre du "CC/CLIVAR Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (ETCCDMI, 2003)", ont développé un ensemble d'indices appelés indices climatiques. Ces indices climatiques, valeurs calculées pouvant être utilisées pour décrire l'état et les changements du système climatique, permettent d'étudier statistiquement les variations des aspects climatologiques dépendantes, telles que l'analyse et la comparaison des séries chronologiques, des moyennes, des extrêmes et leurs tendances. Ces indices climatiques ont été développés en différentes étapes par Frich et al. (2002) et Zhang et Yang (2004). Ils ont aussi, fait objet d'une programmation écrit en langage R, sous le nom RCLimDex (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>).

Soit un nombre de 27 indices, dont 16 indices sont liés à la température et 11 aux précipitations, issus des températures maximales et minimales et aux précipitations. Ils sont regroupés en 5 groupes dont:

1. les indices basés sur les percenti
2. les: – Occurrence des nuits froides (TN10p); – Présence des nuits chaudes (TN90p); – Présence de jours froids (TX10p); – Présence de jours chauds (TX90p); – Journées très humides (R95p); – Jours extrêmement humides (R99p);
3. les indices absolus représentant les valeurs maximum ou minimum dans une saison ou une année: – Jours les plus chauds (TXx); – Nuits les plus chaudes (TNx); – Jours les plus froids (TXn); – Nuits les plus froides (TNn); – Maximum d'un jour de précipitations (RX1j); – Maximum de cinq jours de précipitations (RX5j);
4. les indices seuils correspondent au nombre de jours pendant lesquels une valeur de température ou des précipitations tombent au-dessus ou en-dessous d'un seuil fixé : – Occurrence annuelle de jours de gel (FD); Occurrence annuelle de jours de glace (ID); – Occurrence annuelle des jours d'été (SU); Occurrence annuelle des nuits tropicales (TR); – Nombre de jours de fortes précipitations >10 mm (R10); – Nombre de jours de très fortes précipitations >20 mm (R20);
5. les indices de durée sont des périodes de chaleur ou de froid ou d'humidité ou de sécheresse excessive, ou de longueur de la saison de pluies et des périodes de douceur: – Séquences froides (CSDI); – Séquences chaudes (WSDI); – Longueur de la saison douce (GSL); – Séquences de jours secs consécutifs (CDD); – Séquences de jours de pluie consécutifs (CWD);

6. Autres indices: – Précipitation totale (PRCPTOT); – Amplitude diurne de la température (DTR); – Indice simple d'intensité journalière (ADII); – Plage maximale de température (ETR); – Contribution annuelle de jours très humides (R95p).

Pour cette étude nous avons choisi parmi les 27 indices climatiques existant, onze (11) indices (tableau III-1) pour caractériser les tendances climatiques de la région d'étude surtout les tendances des événements pluviométriques extrêmes.

**Tableau III-1 : Indices de précipitations extrêmes (ETCCDMI),**

<b>Indice</b>	<b>Nom de l'indicateur</b>	<b>Définition</b>	<b>Unité</b>
RX1day	Hauteur maximale de précipitations sur 1 jour	Précipitation totale maximale d'un jour pluvieux	mm
RX5day	Hauteur maximale de précipitations sur 5 jours	Précipitation totale maximale sur cinq jours pluvieux consécutifs pendant l'année	mm
SDII	Indice simple d'intensité journalière.	Précipitations totales annuelles divisées par le nombre de jours humides (définis comme $PRCP \geq 1,0$ mm) dans l'année	mm/J
R10	Nombre de jours de fortes précipitations	Nombre annuel des jours où de pluies $PRCP \geq 10$ mm	jours
R20	Nombre de jours de très fortes précipitations	Nombre annuel des jours de pluies où $PRCP \geq 20$ mm	jours
R50	Nombre de jours au dessus de 50 mm	Nombre annuel des jours de pluies où $PRCP \geq 50$ mm	jours
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximum de jours consécutifs avec $RR < 1$ mm	jours
CWD	Jours de pluie consécutifs	Nombre maximum de jours consécutifs avec $RR \geq 1$ mm	jours
R95p	Jours très humides	PRCP total annuel lorsque $RR > 95$ e centile	mm
R99p	Journées extrêmement humides	PRCP total annuel lorsque $RR > 99$ e centile	mm
PRCPTOT	Précipitations annuelles totales par jour de pluie	Précipitations totales annuelles des jours pluvieux ( $RR \geq 1$ mm)	mm

**PRCP** : Précipitation, **RR** pluies journalières.

# *Chapitre IV :*

---

RESULTATS ET DISCUSSION

## IV. Résultats et discussion

### IV.1 Évolution des tendances dans les séries des précipitations

L'Algérie, vive depuis ces dernières décennies des changements du régime pluviométrique très importants, de nombreuses interrogations peuvent être posées quant aux causes, aux conséquences, voire à l'existence d'une variabilité de la pluviométrie. Dans cette étude, la première question pour nous, concerne un éventuel changement de la pluviométrie annuelle, notamment dans la région Chélif-Zahrez. Ces changements ont une influence négative sur les ressources en eau souterraine et superficielle (recharge des nappes et remplissage des barrages réservoirs...) et sur le rendement agricole.

Les précipitations sont un des processus hydrologiques les plus variables. D'une part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans l'espace et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.). D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux.

#### IV.1.1 Statistiques descriptive des données pluviométriques disponibles

Les données pluviométriques disponibles à travers la région d'étude, présentent des séries d'observations qui suivent à priori des distributions normales, cela se traduit par la distribution des valeurs des paramètres centrales caractéristiques de ces séries (moyenne et médiane) dont les valeurs sont très proches (Tableau IV-1). Les écarts interquartiles enregistrés à travers l'ensemble sont aussi distribués d'une manière symétrique par rapport aux valeurs centrales.

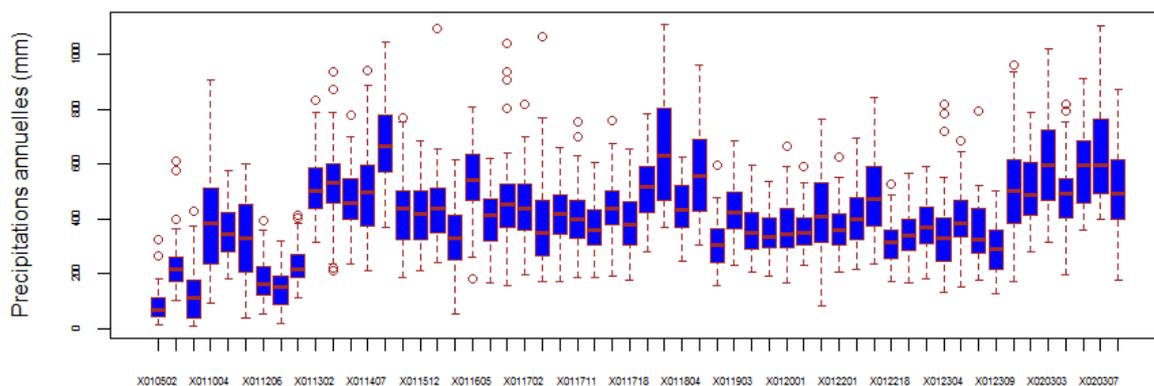
**Tableau IV-1 : Caractéristiques statistiques des séries pluviométriques annuelles.**

Code	Nom Station	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
10502	ZEMALET EL AMIR AEK	12.9	41.7	69.8	84.6	114.5	327.5
10704	KSAR CHELLALA	102.9	170.6	217.7	230.2	260.6	611.8
10706	SIDI BOUDAUD	10.6	38.73	112.6	125.2	176.1	430.1
11004	KHEMISTI	95.2	234.6	385.3	389.1	511.6	909.6
11007	LAYOUNE	183.1	279.2	343.8	351.5	422.6	575.6
11104	AIN BOUCIF	36.9	207.7	331.6	330.0	450.1	602.7
11206	CHAHBOUNIA	54.5	124.7	164.1	178.8	223.9	395.1
11207	KEF LASFAR	18.5	90.4	150.4	148.0	193.1	318.3
11208	OUGHZOUL	110.9	188.3	215.4	231.0	270.5	414.8
11302	DERRAG	316.0	440.7	503.9	511.4	588.4	832.1
11404	ZOUBIRIA MONGORNO	213.2	458.2	532.9	530.3	601.5	937.2
11405	GHRIB BGE	237.5	402.6	457.5	468.9	545.5	779.3
11407	GHRIB AMONT	211.5	374.7	495.6	499.2	593.4	941.6
11509	MEDEA SECTEUR	372.0	575.1	666.9	661.2	778.9	1045.5
11510	DOMAINE FERROUKHI	188.2	323.7	440.1	437.1	500.3	768.6
11512	AIN SULTAN PEP	209.7	326.1	418.2	428.8	498.0	684.5
11603	BORDJ EL AMIR AEK	241.5	349.2	437.4	439.9	510.5	1097.8
11604	KHERBA OD HELLAL	51.0	255.2	332.1	337.3	410.9	614.2

11605	THENEIT EL HAD	183.2	469.6	541.5	538.2	634.1	807.8
11606	SIDI MOKREFI	168.6	322.0	412.4	401.3	472.5	622.2
11607	TARIK IBN ZIAD	154.9	368.8	453.4	465.3	526.0	1042.6
11702	ARIB CHELIFF	194.4	359.1	438.5	444.3	528.7	816.9
11703	BORDJ EL AMIR KHALED	174.1	268.8	350.4	378.6	468.8	1067.4
11706	EL KHEMIS INRA	174.3	345.6	421.1	415.0	484.2	662.8
11711	SIDI LAKHDAR	184.8	328.7	397.1	409.3	467.9	752.6
11715	EL ABABSA	185.4	308.3	361.6	365.9	434.7	608.7
11717	EL KHEMIS ANRH	192.1	378.8	438.2	445.5	502.1	760.6
11718	HARREZA BGE	176.6	309.7	378.3	384.4	461.6	655.2
11801	ARIB EBDA	282.0	427.1	515.8	514.8	591.9	786.1
11803	SIDI MEDJAHED	370.1	469.9	632.8	641.8	802.1	1109.8
11804	AIN DEFLA	246.9	368.3	432.1	442.5	518.1	627.1
11806	ELANNEB	305.7	429.7	558.0	573.1	685.9	962.4
11901	EL TOUAIBIA	157.5	241.3	304.9	308.6	364.2	594.5
11903	TOUTIA EL HASSANIA	228.8	363.1	422.1	434.3	497.9	685.9
11904	ROUINA MAIRIE	205.7	292.5	348.9	359.5	421.4	595.5
11906	ROUINA MINES	190.8	294.5	337.4	343.3	406.1	538.4
12001	EL-ABADIA	168.4	294.8	345.9	362.3	439.8	666.1
12004	TIKEZAL	232.3	304.6	347.6	363.1	404.6	592.7
12108	FODDA Barrage	80.9	317.6	407.2	420.6	526.6	764.1
12201	OULED FARES	207.5	305.0	361.1	367.8	416.1	628.0
12203	PONTEBA BARRAGE	216.3	327.5	397.6	407.9	470.1	696.3
12205	BENAIRIA	234.4	376.8	475.2	481.8	589.5	845.8
12218	DOMAINE SI-TAYEB	170.0	259.3	315.9	316.8	358.4	525.3
12219	CHLEF A.N.R.H	165.0	285.1	342.3	342.0	396.8	565.3
12221	MEDJADJA	181.7	309.6	369.6	378.3	442.5	589.7
12304	SOUK-EL-HAAD	132.5	247.2	329.2	348.4	398.6	819.5
12307	Ain Lellou	150.4	335.9	382.4	407.4	469.7	685.3
12308	OULED BEN ABDELKADER	177.6	277.4	326.4	353.3	438.1	792.9
12309	OUED- SLY	129.6	218.9	291.5	292.9	359.4	504.0
20203	DAMOUS	173.0	387.1	500.6	509.2	608.5	960.7
20211	SIDI-AKKACHA	281.3	413.6	487.6	509.0	606.8	789.6
20303	MENACEUR	316.8	475.0	594.3	608.7	715.7	1021.1
20304	IAZABENE	195.8	406.6	490.9	496.7	546.0	817.1
20306	MEURAD Barrage	358.5	461.9	599.1	590.2	677.2	910.5
20307	DJEBABRA	400.7	495.1	595.9	650.9	762.6	1104.0
20312	CHERCHELL PHARE	175.5	401.9	494.2	512.4	616.0	873.6

Une représentation des caractéristiques des séries pluviométriques en boîte à moustaches (box plot), montre que la pluviométrie annuelle est caractérisée par une irrégularité dans l'espace (Figure IV-2). La région a connue des précipitations importantes qui dépassent les mille millimètres (soit 1067,4mm enregistrée dans la station de Bordj El Amir Khaled et 1042,6 mm enregistré au niveau de la station Tarik Ibn Ziad). Tandis que, les valeurs minimales sont enregistrées au niveau des stations de Sidi Boudaoud avec une valeur minimal 10.8 et Zemalet El Amir Aek avec une valeur minimal de 12,9 (mm).

En plus on peut constater que la partie Est de la région est plus pluvieuse que la partie Ouest. (Une diminution des modules pluviométriques d'Est en Ouest).



**Figure IV-1 : Représentation en box plot de séries pluviométriques.**

### IV.1.2 Tendance des précipitations moyennes annuelles

Les séries de données pluviométriques se caractérisent fréquemment par des effectifs faibles, et ne répondent que rarement aux conditions requises pour l'application de tests statistiques dont certains sont paramétriques. Les tests non paramétriques ne font pas d'hypothèse sur la nature de la distribution de probabilité de la variable définissant la série des observations.

Nous espérons de mettre dans ce travail en évidence l'évolution du régime pluviométrique de la région du Chéiff-zahrez à partir des précipitations, par l'analyse des tendances des séries chronologiques. Ceci en appliquons les méthodes statistiques citées dans le chapitre précédent a fin de caractérisée les tendances générale de la pluviométrie et la détermination des années humides et des années sèches.

L'analyse des tendances a été réalisée sur les valeurs des précipitations annuelles enregistrées sur une période de 52 ans allant de 1968 à 2019 (Figure IV-2 et Annexe IV-1). Un filtre de moyennes mobiles sur trois (3) ans a été appliqué afin d'illustrer les principales tendances.

Les filtres des moyennes mobiles réalisés sur l'ensemble des stations de la région d'étude, montrent qu'il y a des années pluvieuses et d'autres moins pluvieuses. Les années moins pluvieuses deviennent de plus en plus fréquentes dès le début des années quatre vingt (1980). De ce fait, la pluviométrie annuelle connaît une nette tendance vers la baisse.

Les courbes de tendance de la moyenne mobile obtenues, indiquent une diminution progressive des quantités de pluies. Cette diminution devient de plus en plus sévère et atteignent des valeurs au dessous de la normale à partir des années quatre vingt dix (1990). Cela nous permet de distinguer deux périodes bien distinctes, une première humide s'étalant entre 1968 et 1990, et une deuxième période sèche allant de 1991 à 2007, après la deuxième période humide 2008 à 2019 (Figure IV-2 et Annexe IV-1).

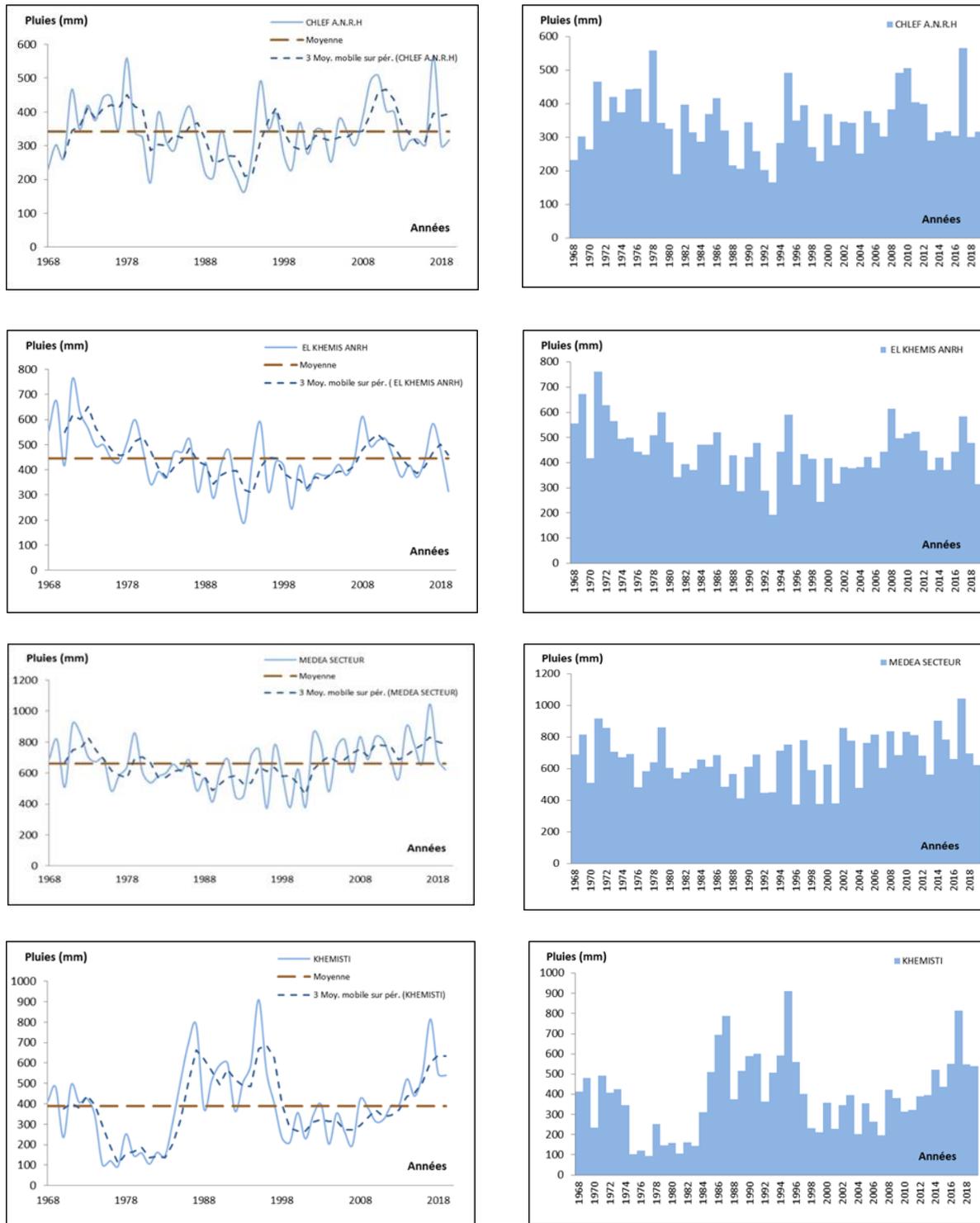


Figure IV-2 : Variation annuelle de précipitation (mm) au cours de la période (1968-2019).

### IV.1.3 Analyse des indices climatiques

Les indices climatiques, valeurs calculées pouvant être utilisées pour décrire l'état et les changements du système climatique, permettent d'étudier statistiquement les variations des aspects climatologiques dépendantes, telles que l'analyse et la comparaison des séries chronologiques, des moyennes, des extrêmes et tendances.

En ce qui concerne l'évolution et les tendances des précipitations extrêmes, nous avons utilisé les indices recommandés par l'OMM (World Meteorological Organisation, 2012) et la communauté scientifique internationale dans le cadre du projet ETCCDMI et déterminés par RClimDex. Nous avons retenu dans cette étude les indices climatologiques communément utilisés permettant de faire des comparaisons avec d'autres études du même type sur les extrêmes climatiques. Nous nous sommes donc focalisés sur onze (11) indices relatifs aux précipitations moyennes, aux séquences sèches, au nombre d'évènements de fortes précipitations et au nombre de jours pluvieux et secs. Il s'agit de: PRCTOT, SDII, CDD, CWD, R10, R20, R50, R95p, R99p, RX1j, RX5j.

Pour chaque variable météorologique et pour chaque indice climatique, la tendance annuelle est identifiée en utilisant la méthode de la régression linéaire (Brunetti et al., 2000) et pour évaluer la significativité statistique le critère de Mann Kendall est appliqué (Sneyers, 1990). Ce test non paramétrique recherche la présence d'une tendance à long terme dans les données. Pour accepter cette tendance il faut évaluer la probabilité, p-value, qui exprime la force de la preuve pour ou contre cette hypothèse (la tendance est acceptée avec une p-value < 0,05 en considérant le niveau de confiance de 95 %).

Dans ce contexte une analyse des séries journalières de température maximale et minimale et de précipitations a été effectuée sur sept (07) stations pluviométriques avec des séries d'observations de 52 ans, de 1968 à 2019.

#### IV.1.3.1 Analyse de tendance des pluies extrêmes

Les indices climatiques développés par l'équipe d'experts sur le Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI, 2003) ont été calculés afin de mieux caractériser et comprendre le changement climatique produit dans plusieurs endroits de la zone d'étude. Ces indices climatiques basés sur des données journalières de précipitation permettent de caractériser les événements pluvieux dans le Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez. Dans cette étude, Onze (11) indices climatiques ont été considérés car pouvant potentiellement impacter sur la disponibilité des ressources en eau et la productivité agricole dans notre zone. Ces indices sont présentés dans le tableau IV-2 (Peterson et al, 2001). Les projections ont été réalisées sur le Bassin Cheliff Zahrez.

Tableau IV-2 : Résultats de calcul des indices climatiques

Station	Paramètre	cdd	cwd	prcptot	r10	r20	r95p	r99p	rx1day	rx5day	sdi
Ain Defla	Slope	0,105	-0,025	-1,868	-0,086	0,013	-0,598	-0,928	-0,192	-0,353	-0,028
	STD_Slope	0,865	0,043	2,673	0,105	0,06	1,587	0,874	0,24	0,598	0,029
	P_Value	0,904	0,564	0,491	0,42	0,829	0,71	0,299	0,43	0,561	0,332
Arib Cheliff	Slope	0,394	-0,097	-6,344	-0,181	-0,149	-2,978	-1,916	-0,498	-0,738	-0,072
	STD_Slope	0,797	0,051	2,83	0,123	0,052	1,717	0,895	0,246	0,695	0,029
	P_Value	0,626	0,068	0,035	0,156	0,009	0,096	0,043	0,054	0,299	0,021
EL Asnam DDA	Slope	0,561	-0,112	0,112	-0,024	0,038	1,391	0,537	0,558	0,39	0,016
	STD_Slope	0,852	0,043	2,467	0,104	0,045	1,291	0,65	0,31	0,473	0,028
	P_Value	0,517	0,017	0,964	0,824	0,405	0,292	0,418	0,085	0,418	0,571
Harreza Barrage	Slope	2,352	0,021	-2,189	-0,026	-0,087	-2,153	-0,206	-0,078	-0,636	-0,057
	STD_Slope	1,235	0,035	3,039	0,141	0,083	2,274	0,776	0,324	0,711	0,035
	P_Value	0,076	0,559	0,482	0,856	0,312	0,359	0,794	0,813	0,385	0,125
Khemis ANRH	Slope	1,094	0,055	-3,017	-0,024	-0,061	-2,405	-1,976	-0,55	-0,717	-0,026
	STD_Slope	0,826	0,032	2,609	0,109	0,061	1,966	0,937	0,362	0,751	0,023
	P_Value	0,198	0,097	0,259	0,826	0,324	0,233	0,046	0,141	0,349	0,261
Medea secteur	Slope	-0,391	0,007	0,374	0,167	-0,019	-0,573	-2,201	-0,303	-0,452	-0,023
	STD_Slope	0,838	0,048	4,591	0,17	0,099	2,483	1,871	0,705	1,157	0,048
	P_Value	0,645	0,883	0,936	0,335	0,849	0,82	0,251	0,671	0,7	0,636
Theniet el had	Slope	-0,782	0,043	2,854	0,135	0,032	0,489	-0,825	0,149	0,076	-0,001
	STD_Slope	0,546	0,046	3,829	0,16	0,056	2,211	1,334	0,563	0,763	0,033
	P_Value	0,165	0,362	0,463	0,407	0,573	0,827	0,542	0,794	0,921	0,973

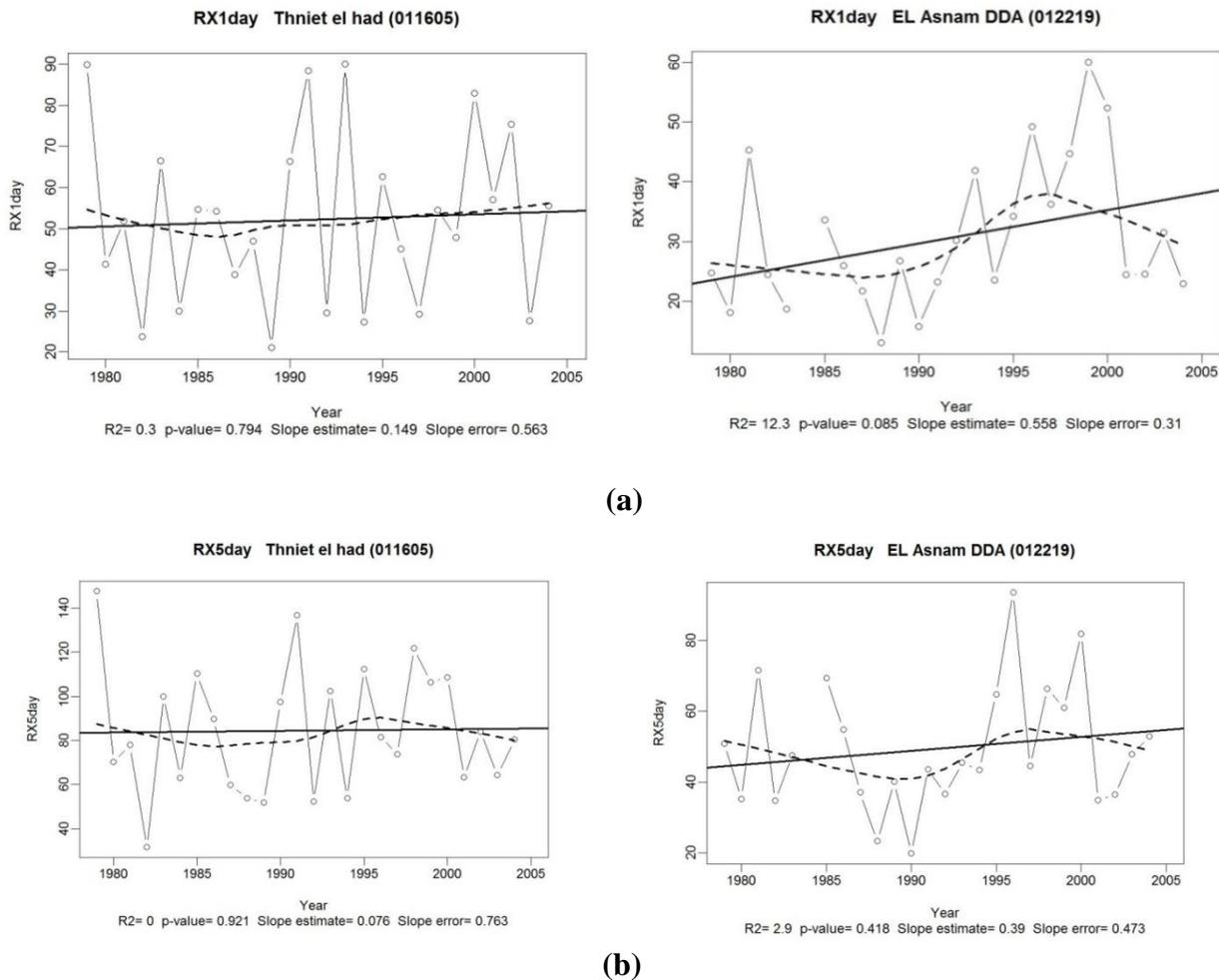
Après avoir obtenu les indices extrêmes pour chaque station, les séries chronologiques résultantes ont été soumises à une analyse statistique pour déterminer la présence ou l'absence de tendances et déterminer leur signification statistique ( $p \leq 0,05$ ). Cette analyse a été réalisée avec le test non paramétrique de Mann-Kendall (Mann, 1945 ; Kendall, 1975 ; Río et al., 2005). Ce test est robuste et n'est pas affecté lorsque des valeurs manquantes existent dans la série chronologique.

Dans les études sur le réchauffement climatique, il est essentiel de connaître le signe des indices extrêmes ; cela permet de prédire d'autres indices destinés à des applications liées aux impacts du changement climatique (Almazroui et al., 2014).

Les tendances des 11 indices de précipitations extrêmes à sept (07) de la région Cheliff Zahrez, sont présentées dans cette partie de notre étude. À partir de ces indices étudiés, les résultats pour ceux qui ont montré des tendances statistiquement significatives ( $p \leq 0,05$ ) à au moins une station météorologique sont discutés.

### 1) Hauteur maximale de précipitations sur 1 et 5 jour (RX1day, RX5day)

La hauteur maximale de précipitations sur 1 jour (RX1day) et la hauteur maximale de précipitations sur 5 jours (RX5day) semblaient augmenter juste sur deux stations situées dans la rive gauche de l'oued Cheliff. Les indices RX1day et RX5day n'ont montré des tendances statistiquement significatives ( $p \leq 0,05$ ) qu'à deux (02) stations parmi les sept étudiées. Les amplitudes de ces tendances étaient respectivement de 0,558 et 0,39 mm/jour pour la station El Asnam DDA et de 0,149 et 0,076 mm/jour pour la station Theniel El Had (Tableau IV.2).



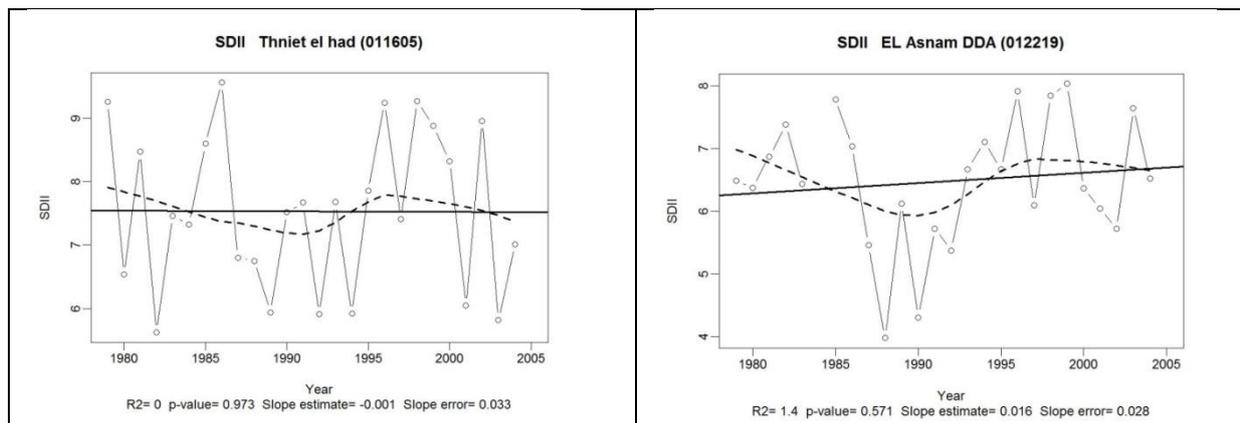
**Figure IV-3 : Hauteur maximale de précipitations sur 1 et 5 jour (a-RX1day, b-RX1day)**

La tendance positive du RX1day et RX5day dans ces stations, (Figure IV.3) a indiqué que, les précipitations journalières maximales sur 1 et 5 jour augmentaient. Ces augmentations peuvent être liées au réchauffement climatique, aux changements de l'humidité près de la surface terrestre et à la circulation masses d'air (O'Gorman et Schneider, 2009), ainsi qu'à une augmentation de la variabilité interannuelle de la mousson en réponse à la duplication du dioxyde de carbone (Meehl et Washington, 1993). Ces augmentations de précipitations sont d'une grande importance environnementale, car elles améliorent le ruissellement et la recharge des aquifères (Nowreen et al., 2015). De plus, un effet néfaste

associé aux augmentations du RX1day le RX5day est l'augmentation de la fréquence des crues massives (Nowreen et al., 2015).

## 2) Indice d'intensité journalière (SDII)

L'analyse du SDII a également révélé des changements dans les mêmes stations de la zone d'étude. Cet indice a montré une tendance statistiquement significative ( $p \leq 0,05$ ) à deux (02) stations. Les tendances significatives légèrement positives avec une valeur égale à 0,016 mm/jour



**Figure IV-4 : Indice d'intensité journalière (SDII)**

## 3) Nombre de jours de fortes précipitations (R10 et R20)

Le nombre de jours de fortes précipitations (R10 et R20) n'a montré des changements que dans deux stations de la zone d'étude. L'indice R10 a montré une tendance statistiquement significative ( $p \leq 0,05$ ) uniquement à deux stations (Figure IV.5 et Annexe IV.2), avec des magnitudes de -0,024 et 0,407 jours respectivement à El Asnam DDA et Thniet El Had (Annexe IV.2).

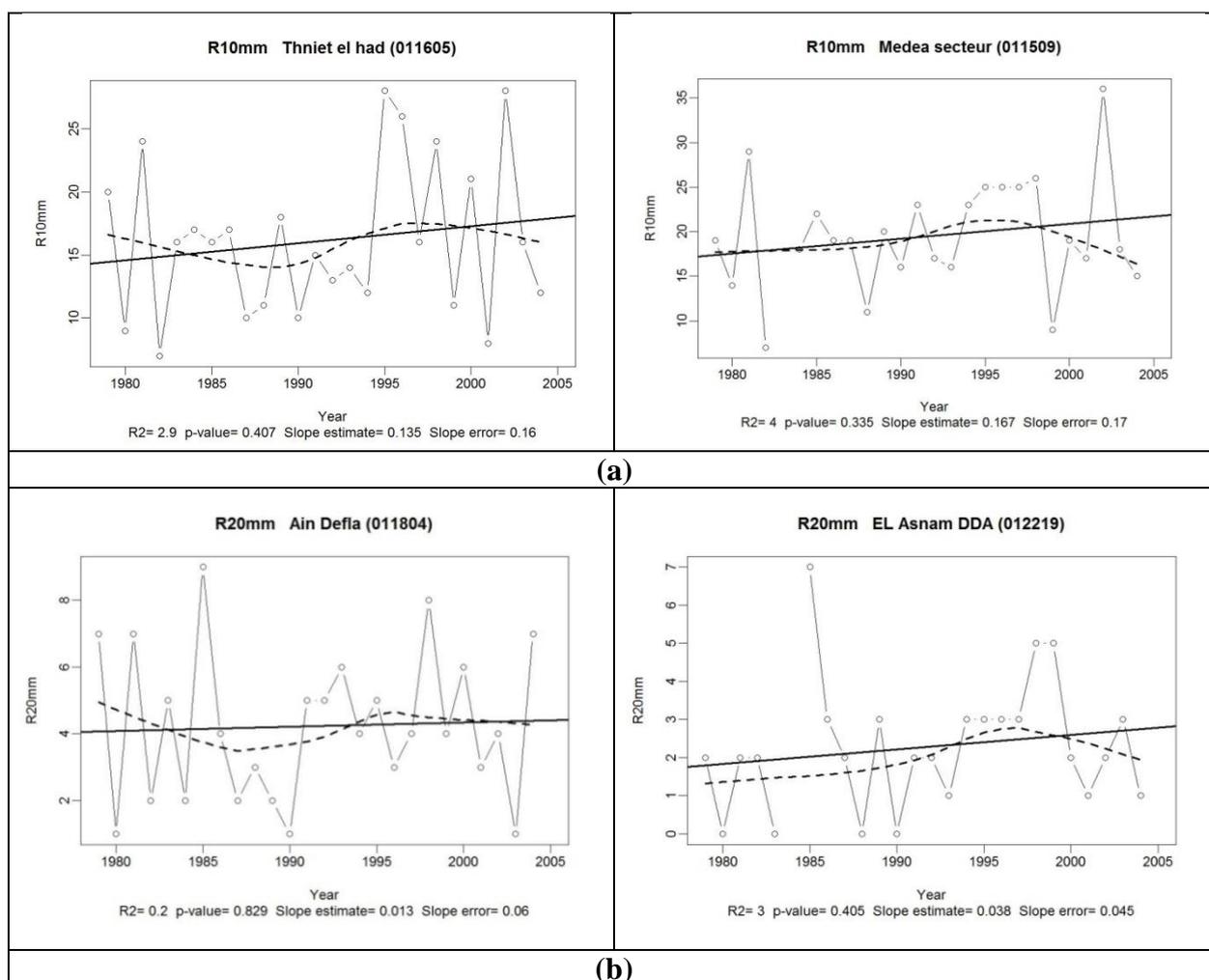


Figure IV-5 : Nombre de jours de fortes précipitations (a-R10 et b-R20)

#### 4) Nombre de jours très humides (R95p)

Le nombre de jours très humides (R95p) évolue sur deux stations (El asnam DDA et Theniet El Had). L'indice R95p avait des tendances statistiquement significatives ( $p \leq 0,05$ ), positives, à deux stations et négatives à 5 stations (Tableau IV.2). Les magnitudes étaient de 1,391 et 0,489 mm à El asnam DDA et Theniet El Had, respectivement. Nos résultats ont indiqué que les jours très humides, c'est-à-dire les précipitations totales annuelles lorsque les précipitations quotidiennes (RR) sont  $> 95$ e centile, ont augmenté dans certaines stations de la région d'étude. Selon les modèles climatiques, les augmentations de R95p sont également une conséquence du forçage des gaz à effet de serre (Frich et al., 2002). Les augmentations de R95p dans cette zone d'Aguascalientes pourraient avoir des effets environnementaux et économiques importants, tels qu'une plus grande disponibilité d'humidité pour maintenir le dynamisme de l'écosystème et du cycle hydrologique, et une plus grande disponibilité d'humidité du sol pendant la saison de croissance.

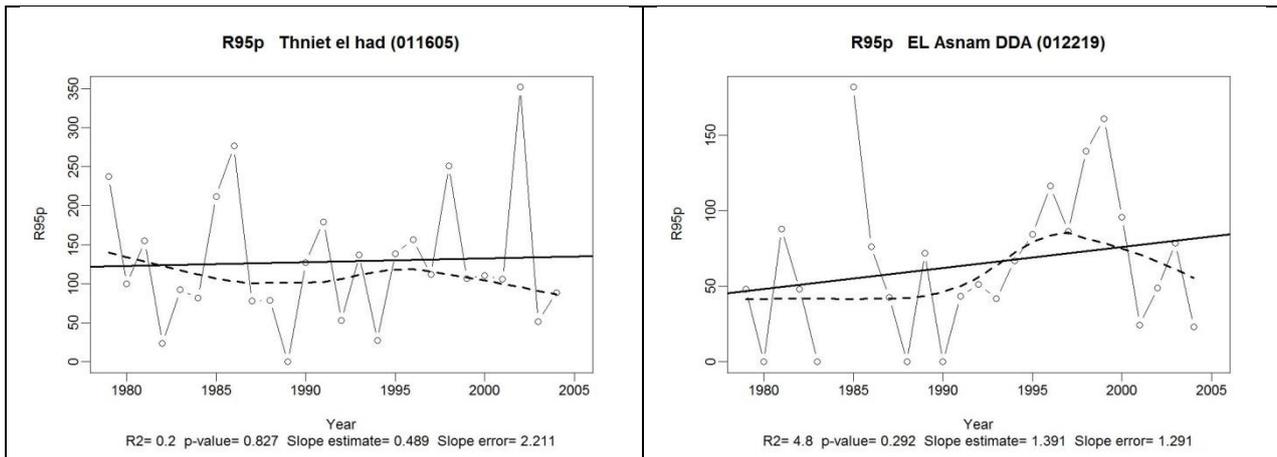


Figure IV-6 : Nombre de jours très humides (R95p)

### 5) Précipitations annuelles totales par jour de pluie(PRCPTOT)

Le PRCPTOT a également indiqué des changements dans trois (03) stations (El Asnam DDA et Theniet El Had et Medea Secteur). L'indice PRCPTOT n'a montré une tendance statistiquement significative ( $p \leq 0,05$ ) que sur trois stations (Annexe IV.2); sa valeur était de 0,112, 2,854 et 0,374 mm respectivement à El Asnam DDA et Theniet El Had et Medea Secteur. Ces résultats indique que PRCPTOT augmente dans certains stations de la zone d'étude. Les augmentations des précipitations sont liées au forçage associé à un fort mouvement vertical et à l'augmentation significative de la vapeur d'eau dérivée du réchauffement (Hartmann et al., 2013 ; Westra et al., 2014).

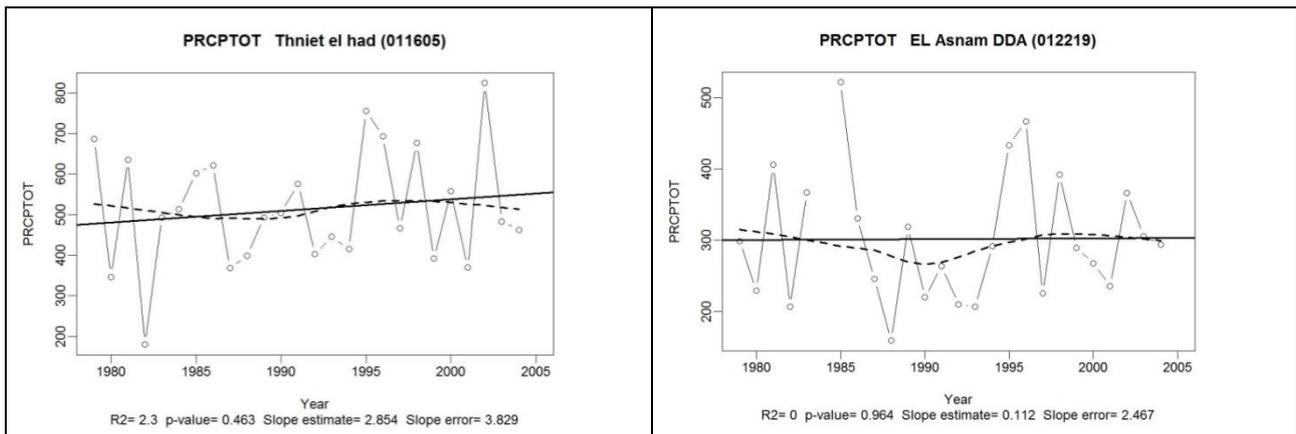


Figure IV-7 : Précipitations annuelles totales par jour de pluie(PRCPTOT)

---

# CONCLUSION GENERALE

## Conclusion générale

Les recherches sur le climat deviennent de plus en plus au premier plan de l'actualité, ainsi la communauté scientifique internationale a commencé à s'interroger sur les conséquences possibles de la modification de la composition chimique de l'atmosphère. Ensuite, un phénomène particulier est apparu et qui ne cesse de prendre de l'ampleur vu le risque qu'il présente pour l'humanité. Ce phénomène est celui du changement climatique ou particulièrement du changement de régime pluviométrique.

Afin d'atteindre cet objectif tracé pour cette étude, nous avons jugé nécessaire une étude de l'impact du changement climatiques sur l'évolution des évènements extrêmes dans la région Cheliff-Zahrez.. Pour cela, différentes méthodes ont été employées.

En effet, avant de commencer l'étude nous avons défini certain concept clé en relation avec le climat et le changement climatique. Ainsi, définir une approche clé pour mené à bien notre travail.

L'approche méthodologique adoptée pour atteinte l'objectif de la présente étude, comporte les opérations suivantes :

- Préparation des fichiers de données de précipitations et des températures journalières et annuelles.
- Analyse de la tendance des chroniques des paramètres climatique en utilisant les méthodes statistiques telle que la moyenne mobile.
- De mettre en évidence l'évolution du climat à l'aide des indices climatiques (appliqués sur des précipitations journalières maximales).
- L'analyse des résultats obtenues et caractérisation des tendances des précipitations journalières maximales.

Ce pendant, l'analyse des tendances réalisée sur les séries chronologiques enregistrées à travers les stations pluviométriques de la région Cheliff-Zahrez, sur une période de 52 ans allant de 1968 à 2019.

Les filtres de moyennes mobiles sur trois (3) sont appliqués afin de mettre en évidence les principales tendances. Cette méthode a mis en évidence la succession de deux phases, un long épisode globalement pluvieux qui s'est étendu entre le début des années 60 et la fin des années 80, une période globalement déficitaire, qui aurait commencé au début des années 90 et qui persiste jusqu'à nos jours. Cette diminution devient de plus en plus sévère et atteignent des valeurs au dessous de la normale à partir des années quatre vingt dix (1990).

L'analyse des tendances de 11 indices de précipitations extrêmes calculés sur les données des précipitations journalières maximales de sept (07) stations du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez. Dans deux stations (El Asnam DDA et Theniet El Had)

situées dans la rive gauche de l'Oued Cheliff, les précipitations en 1 et 5 jours augmentent, l'intensité des précipitations et le nombre de jours de fortes précipitations augmentent, les précipitations totales annuelles montrent également des signes d'augmentation.

Cette piste de recherche devrait se poursuivre avec l'analyse des événements de précipitations extrêmes en utilisant les données des sorties de modèles climatiques à la fois pour le climat actuel et futur ; ces résultats bénéficieront à la société dans la planification socio-économique à long terme. Les changements constatés dans les indices de précipitations extrêmes dans la présente étude pourraient également faire partie des effets du changement climatique qui affectent d'autres parties du bassin hydrographique Cheliff-Zahrez.

## Références Bibliographiques

Académie des sciences, 2010 LE CHANGEMENT CLIMATIQUE, Rapport de synthèse des interventions et discussions prononcées lors du débat sur le climat le 20 septembre 2010, Académie des sciences 24p.

Amiar S, Bouanani A, Baba-Hamed K, &Belarbi H 2020 Variabilité pluviométrique dans le bassinversant du Haut et Moyen Cheliff ; Revue des Sciences de l'Eau/Journal of Water Science, 32(4), 337-347.

Bates B C, Kundzewicz Z W, Wu S, &Palutikof J P 2008 Le changement climatique et l'eau ; Document technique publié par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Secrétariat du GIEC, Genève, éd. Suisse, 236 p.

Benito et al. 2020 Available and missing data to model impact of climate change on European forests, Ecological Modelling 416 (2020), <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108870>

Boucefiane A, & Meddi M 2019 Regional growth curves and extreme precipitation events estimation in the steppe area of northwestern Algeria; *Atmósfera*, 32(4), 287-303

BRUNETTI M., M. MAUGERI et T. NANNI (2001).Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy. *Int. J. Climatol.*, 21, 861-871.

Chiew, F.H.S. et McMahon, T.A., 1993. Detection of trend or change in annual flow of Australian rivers. *International Journal of Climatology*, 13, 643–653.

Chiew, F. et Siriwardena, L., 2005. Trend and change detection software. CRC for Catchment Hydrology, Australia

FARAH ABDELHAFID K, 2014 Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est, Magistère, Université de Constantine 1, 2014, pp29

GIEC, Résumé à l'intention des décideurs, 2007. In *Changements climatiques 2007 : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC.*

Hamdi, M.R., Mahmoud A-A., et Ammar Al-S., 2009. Climate change in Jordan: a comprehensive examination approach *American Journal of Environmental Science*, 5 (1) 58–68.

IPCC 2014 Climate Change 2014 Synthesis Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Geneva, Switzerland, 151p.

Karpouzou, D.K., Kavalieratou, S., et Babajimopoulos, C., 2010.Trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece).*European Water*, 20, 31–40.

KENDALL M.G. (1975). Rank correlation methods. 4th Edition Charles Griffin, Londres, Royaume-Uni, 202 p.

Kasbadji M N, Daaou H, et Haddouche S 2000 Carte des Vents de l'Algérie, Etablies à l'aide du Modèle AIOLOS; 4<sup>ème</sup> Congrès National de la Physique Énergétique, Faculté de physique de l'USTHB, Sidi Fredj.

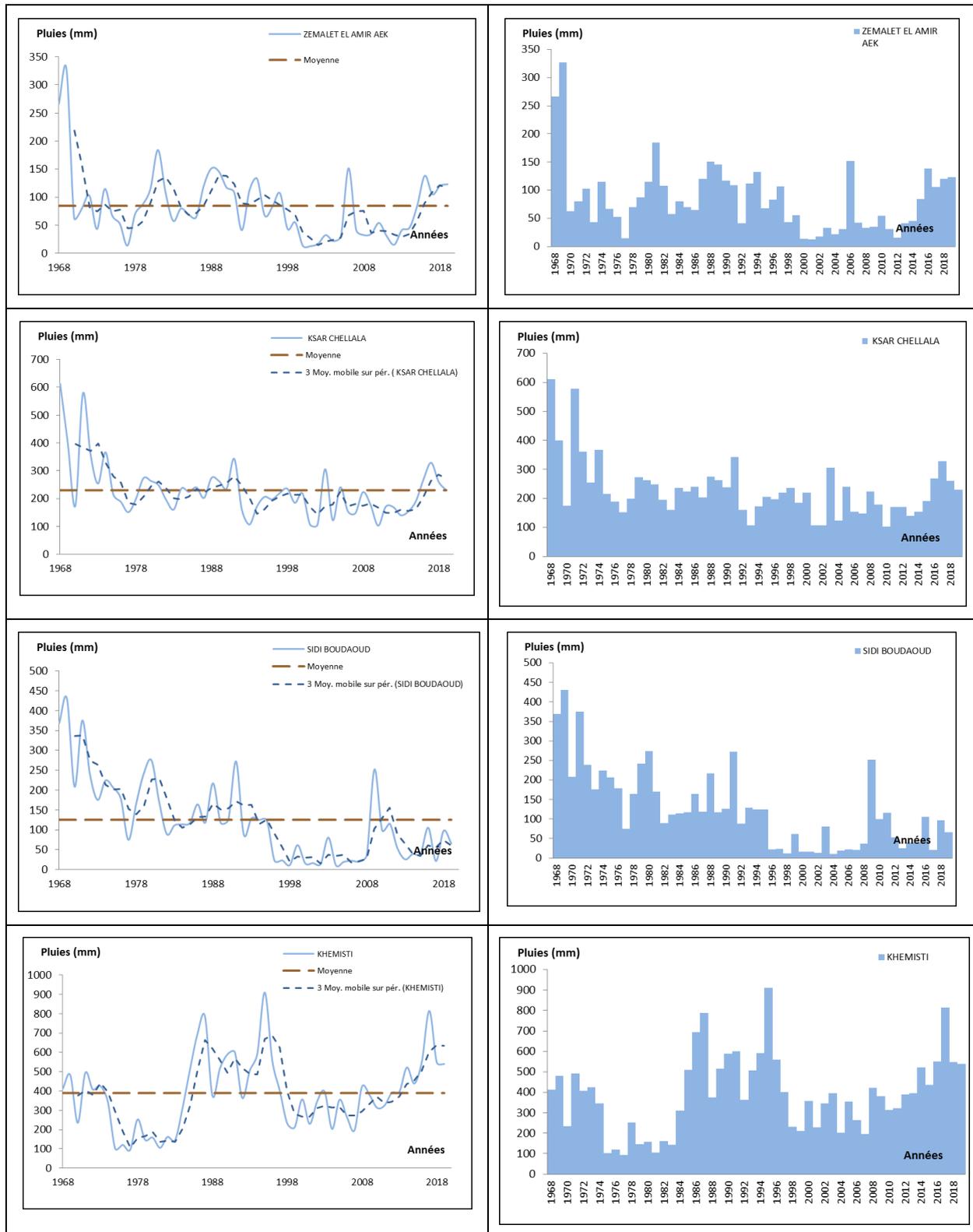
- KHEDIMALLAH A.2021 Impact des changements climatiques et anthropiques sur les ressources en eau dans les bassins du Cheliff et de la Medjerda (Thèse de doctorat de l'école nationale supérieure d'hydraulique), 2021, pp 14/16- 34/71
- Kundzewicz, Z.W. et Robson, A., 2004. Change detection in river flow records-review of methodology. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 3–6.
- MAATIAT Y. et BEN REKIA S , 2021 Impact du Changement Climatique sur l'Évolution des Eaux Souterraine dans le Bassin Versant du Bas Chélif , master ,Université Djilali BounaamaKhemis Miliana, 2021, pp15/16.
- Mahé G, Lienou G, Descroix L, Bamba F, Paturel J E,Laraque A, Meddi M, Habaieb H, Adeaga O, Dieulin C,Chahnez Kotti F and Khomsi K 2013 The rivers of Africa: Witness of climate change and human impact on the environment; *Hydrol. Process*, 27(15) 2105–2114, <https://doi.org/10.1002/hyp.9813>.
- Meddi M, & Boucefiane A 2013 Climate change impact on groundwater in Cheliff-Zahrez Basin (Algeria); *APCBEE procedia*, 5, 446-450.
- Meddi M, & Boucefiane A 2014 Impact Des Changements Climatiques Sur Le Renouvellement Des Ressources En Eau Souterraine: Cas Du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez, Algerie/Impact Of Climate Change On Groundwater Recharge In The Cheliff-Zahrez Basin, Algeria ; *Production scientifique-Publications*.
- MANN H.B. (1945). Non parametric tests against trend *Econometrica*, 13, 245-259.
- MEHAIGUENE M. 2005 Bilan hydrologique et ressources en eau de surface du bassin Cheliff-Zahrez, pp16/33
- New, M., et al., 2006. Evidence of trends in daily climate extremes over Southern and West Africa. *Journal of Geophysical Research*, 111, D14102, doi:10.1029/2005JD006289
- Nouaceur Z N, Laignel B, Imen T and Hiba J 2014 Climate change in northern Africa: Towards a return of rainfall on the southern mediterranean basin; *AerulsiApa. Componenteale Mediului*. 48.
- Organisation mondiale de Météorologie (WMO). 2017 Frequently asked questions. Available at: [http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq\\_doc\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faq/faq_doc_en.html).
- O’Gorman, P. A & Schneider, T. 2009 The physical basis for increases in precipitation extremes in simulations of 21st-century climate change". *Proceedings of the National Academy of Sciences*.Vol. 106.no. 35, p. 14773.
- Peterson TC, Folland C, Gruza W, Hogg G, Mokssit A and Plummer N (2001): “Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001,” WMO Rep.WCDMP 47,WMO-TD 1071,.
- Peterson TC, Folland C, Gruza W, Hogg G, Mokssit A and Plummer N (2001): “Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001,” WMO Rep.WCDMP 47,WMO-TD 1071,.

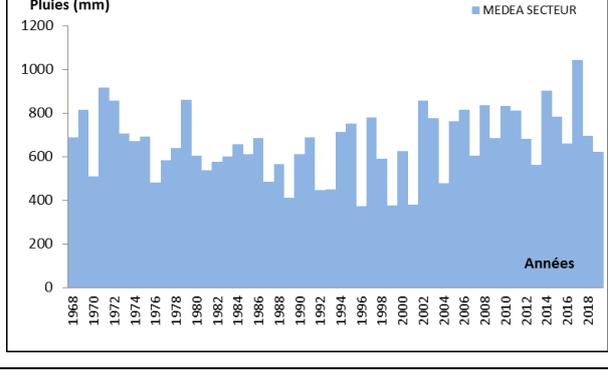
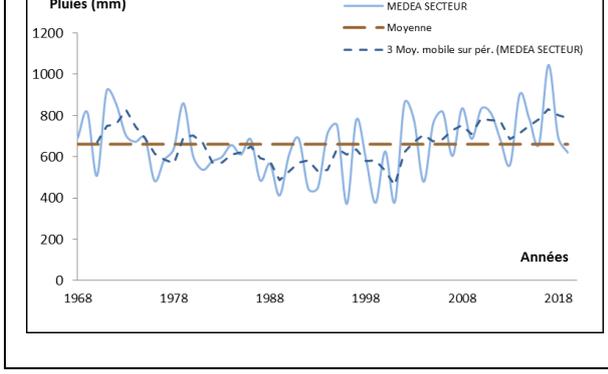
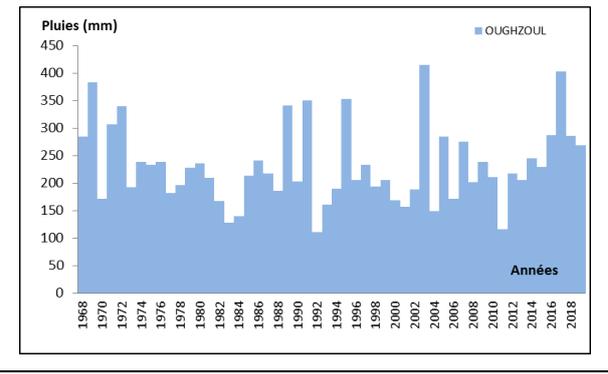
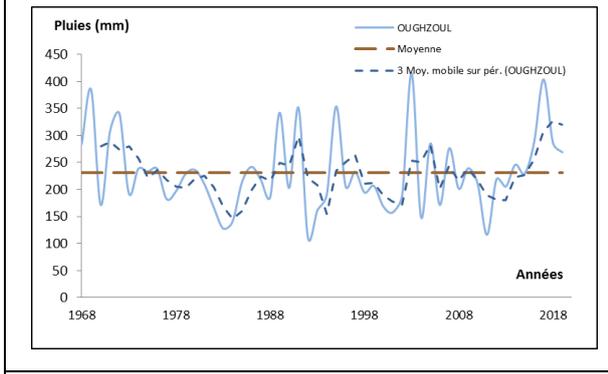
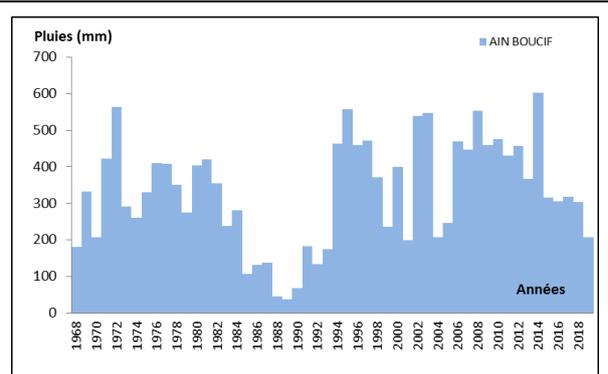
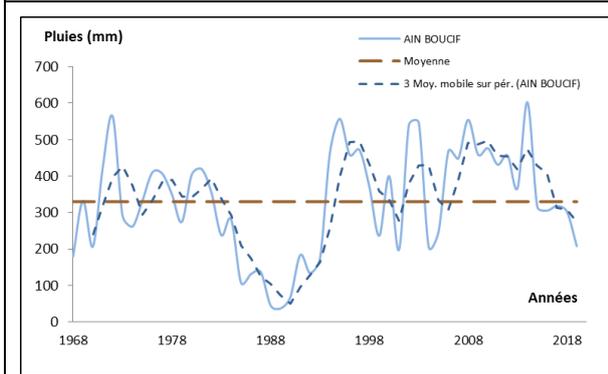
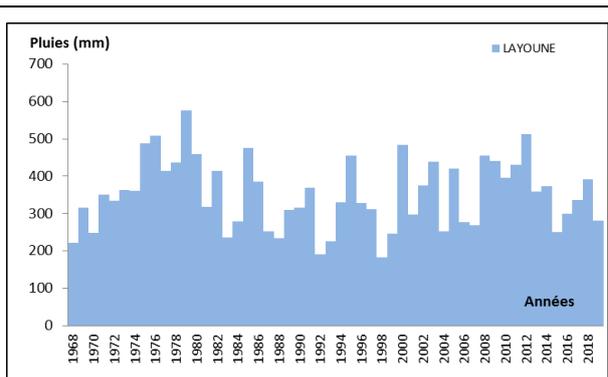
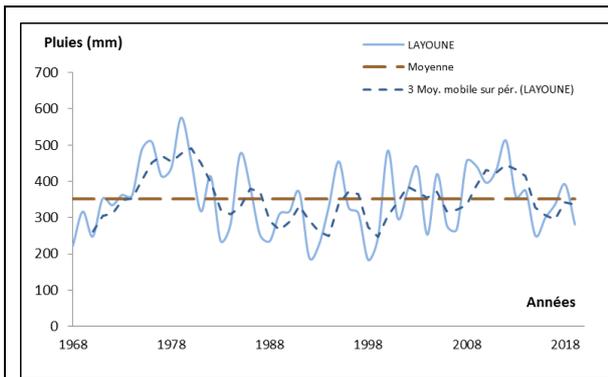
- Radziejewski, M. et Kundzewicz Z. W., 2000. HYDROSPECT software for detecting changes in hydrological data. In: Z.W.Kundzewicz et A. Robson, eds. Detecting trend and other changes in hydrological data. Geneva: World Meteorological Organization, World Climate Programme Data and Monitoring, 151–152.
- Sneyers R. (1990). On the statistical analysis of series of observations Organisation météorologique mondiale, Note technique No. 143, Genève, Suisse, 218 p.
- Taibi, S. 2014. Influence de la circulation atmosphérique générale sur les précipitations du Nord de l'Algérie ; Thèse de doctorat en science, ENSH, Blida, Alger. 192p
- Taibi, S., M. Meddi, et al. 2015 Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall. Theoretical and Applied Climatology: 1-17(2015).
- TERRAH S. et BENDJAZIA M., 2015 Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales annuelles: Estimation et cartographie « Bassin Hydrographique Cheliff Zahrez», master, Université Djilali Bounaama Khemis Miliana, 2015, pp50.
- Vennetier M. 2012 Changement climatique et dépérissements forestiers : causes et conséquences. Changement climatique et modification forestière, CNRS, p. 50 - p. 60, 2012. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00756083>
- Wang D., Hejazi M., Cai X., Valocchi A. J. 2011 Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois <https://doi.org/10.1029/2010WR009845>
- WMO (World Meteorological Organization), 2009. Guidelines on analysis of extremes in changing climate in support of informed decisions for adaptation. Geneva, Switzerland: WMOWCDMP no. 72.
- Xoplaki, E., González-Rouco, F., Luterbacher, J., Wanner, H., 2004. Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large scale dynamics and trends. Climate Dynamics 23, 63–78
- Zeroual, A., Assani A. A., et al. 2016 Combined analysis of temperature and rainfall variability as they relate to climate indices in Northern Algeria over the 1972–2013 period. Hydrology Research. (2016)
- Zhang, A. W.; Lee, B. D.; Lee, S. K.; Lee, K. W.; An, G. H.; Song, K. B.; Lee, C. H., 2005. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. Poultry Sci., 84 (7): 1015-1021
- Zida W A, Traoré F, Bationo B A, & Waaub J P 2020 Dynamics of woody plant cover in the Sahelian agroecosystems of the northern region of Burkina Faso since the 1970s–1980s droughts; Canadian Journal of Forest Research, 50(7), 659-669

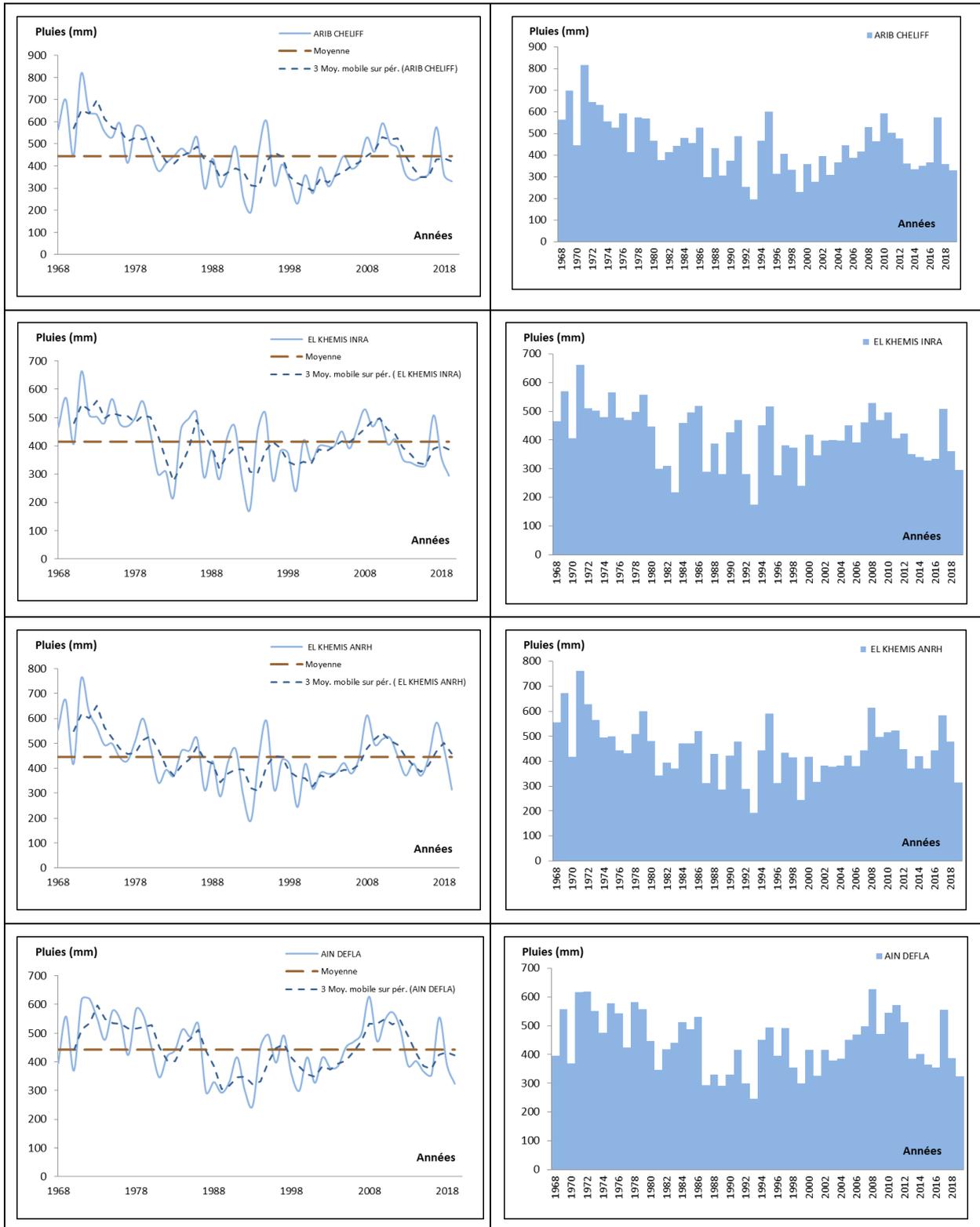
# ANNEXES

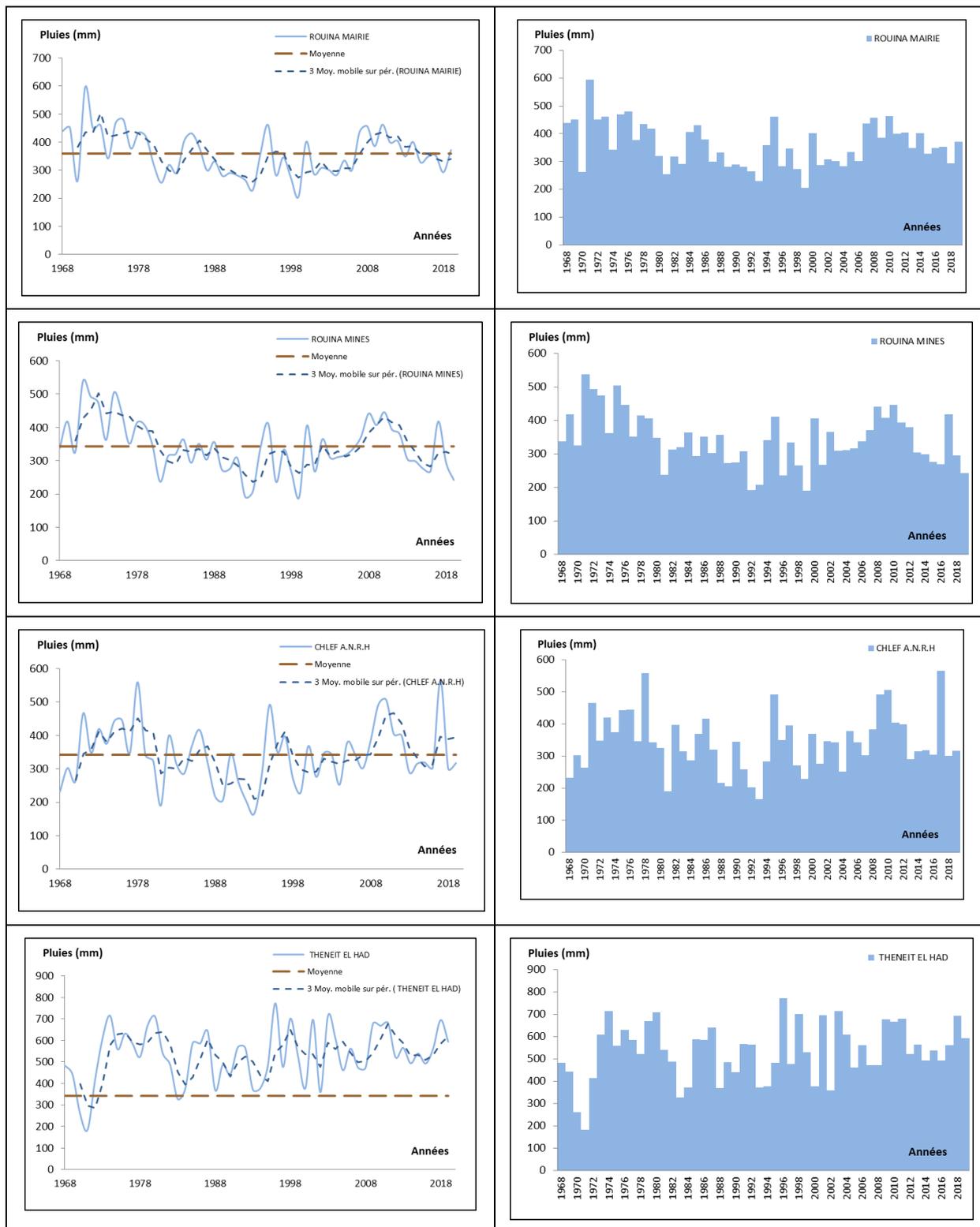
---

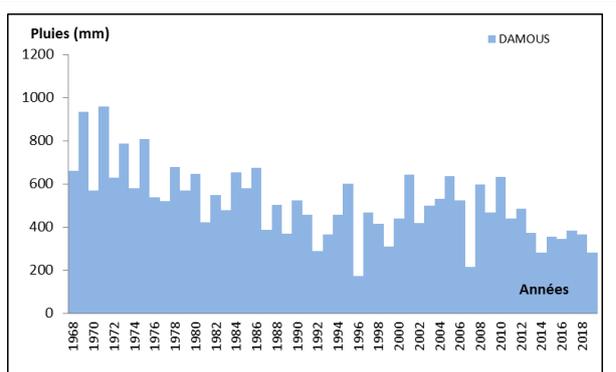
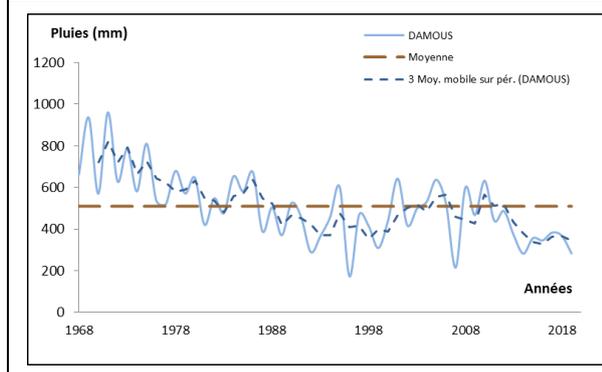
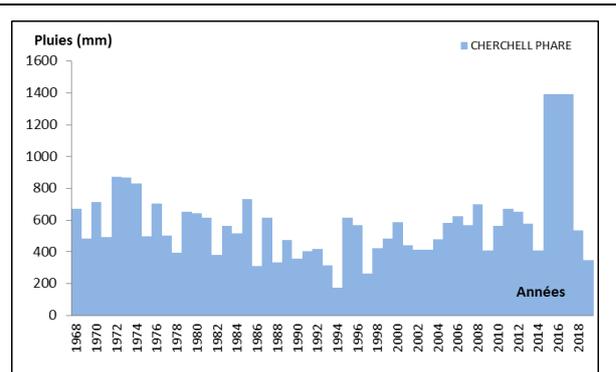
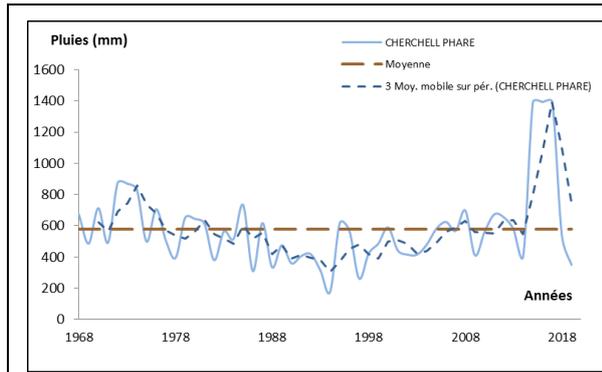
## Annexe IV-1 : Évolution et tendances des précipitations annuelles





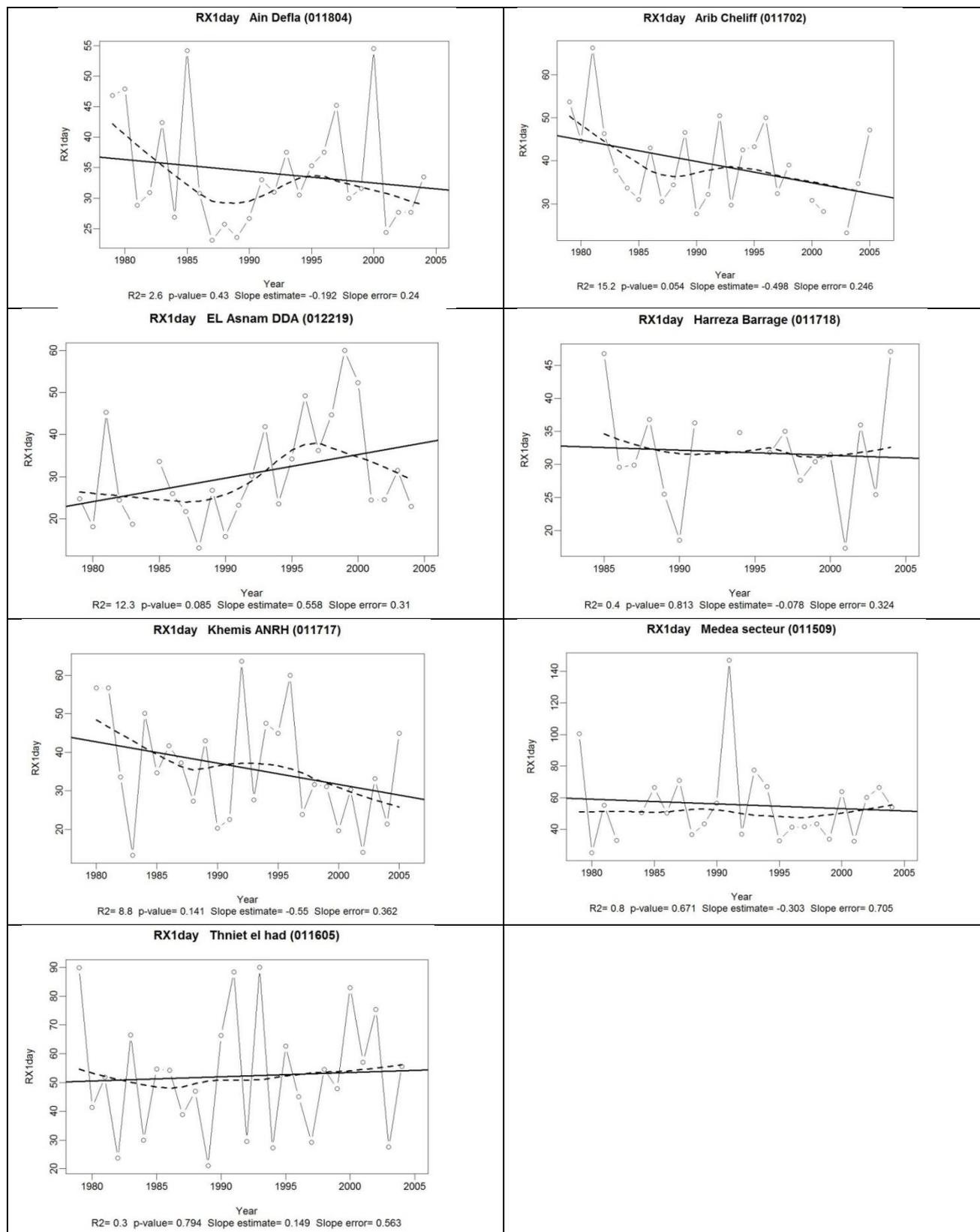




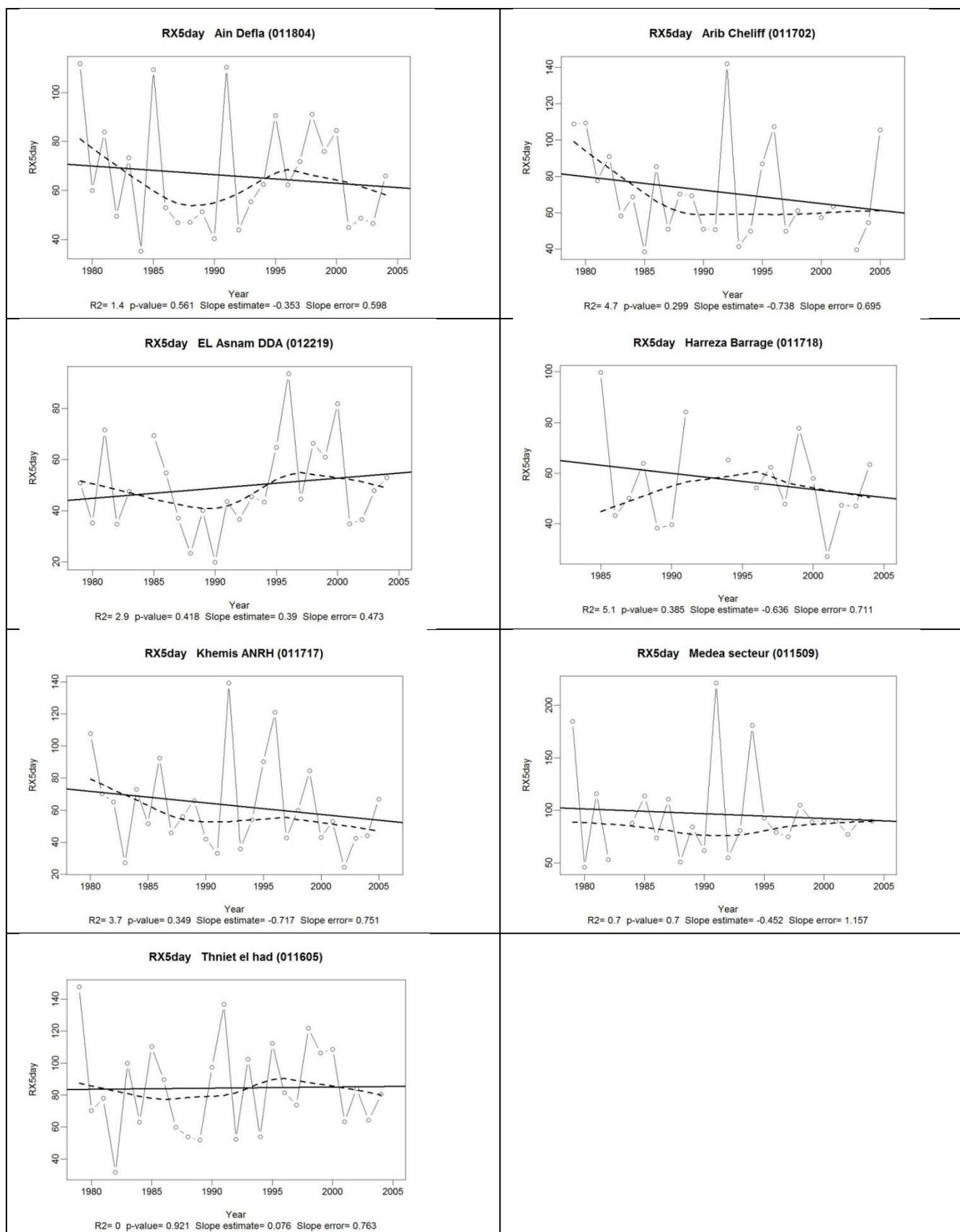


## Annexe IV-2 : Indices climatiques

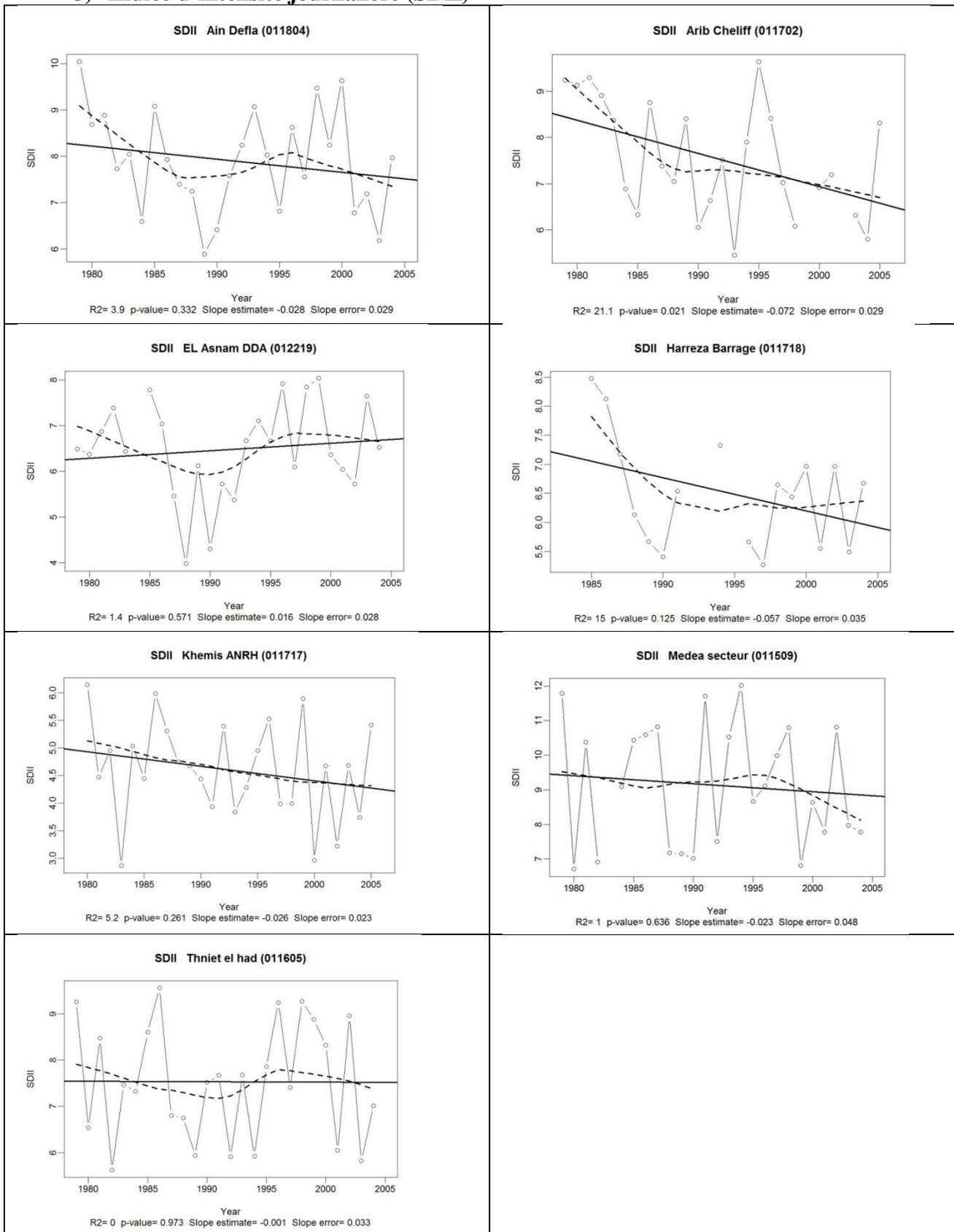
## 1) Hauteur maximale de précipitations sur 1 jour (RX1day)



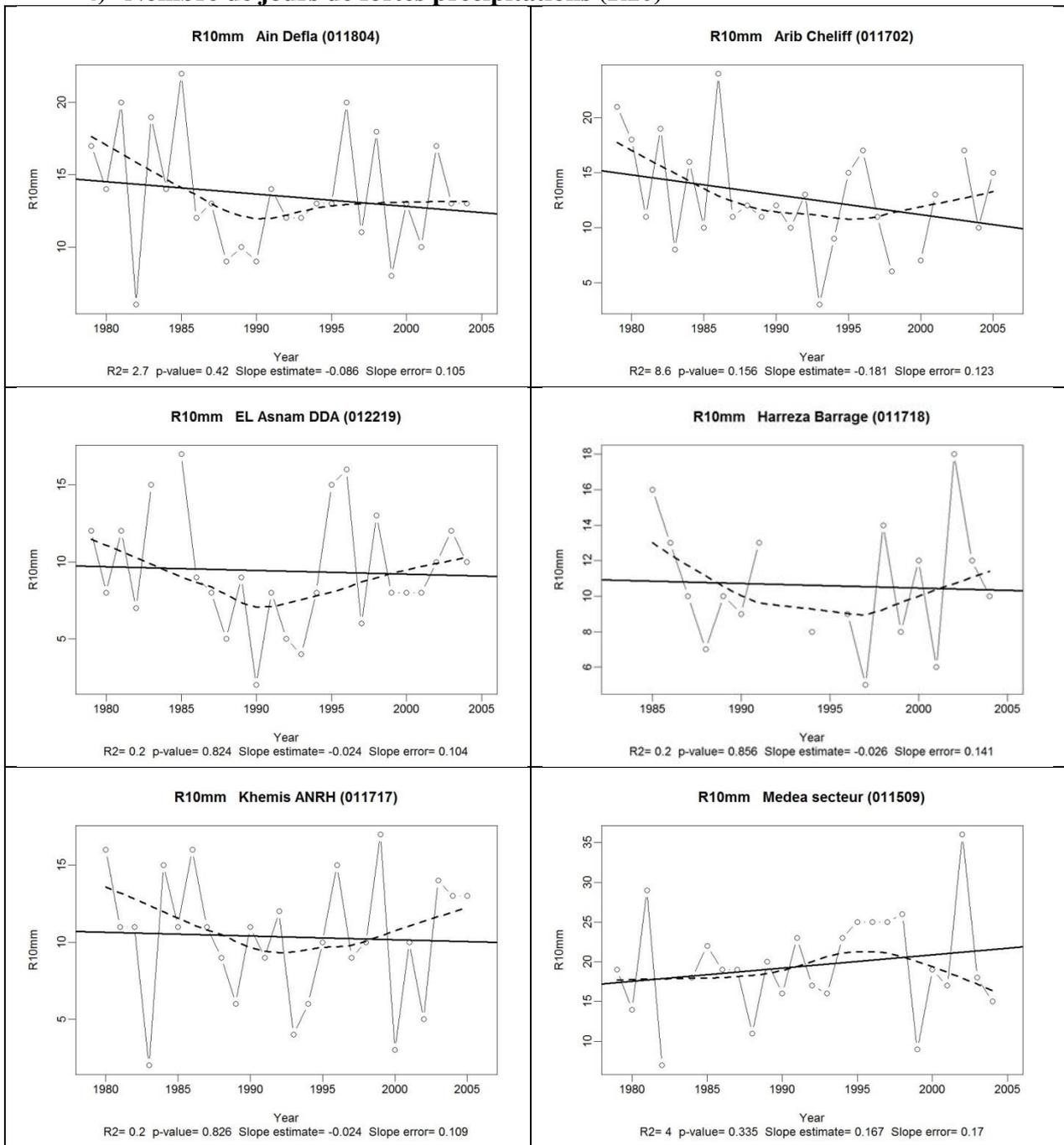
## 2) Hauteur maximale de précipitations sur 5 jours (RX5day)

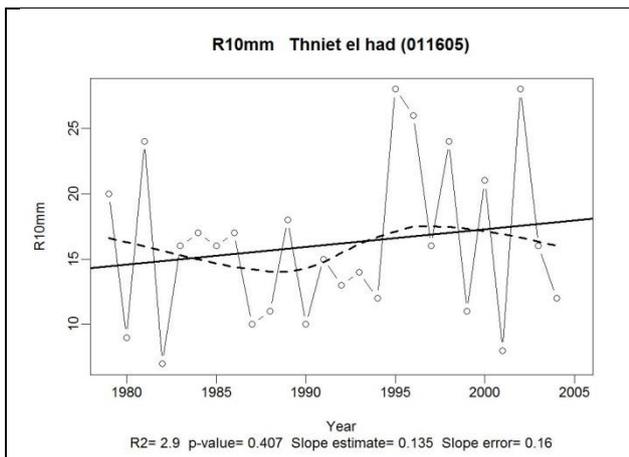


### 3) Indice d'intensité journalière (SDII)

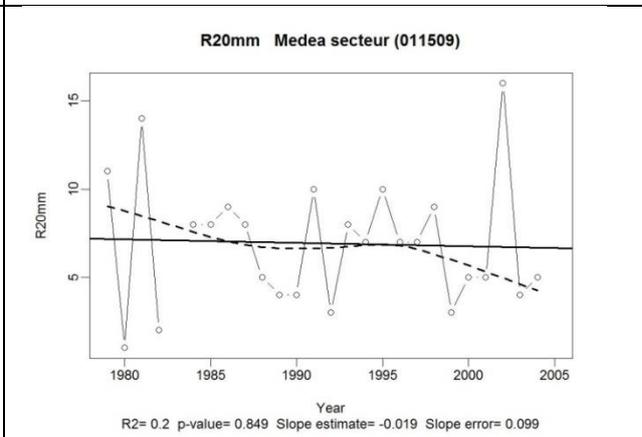
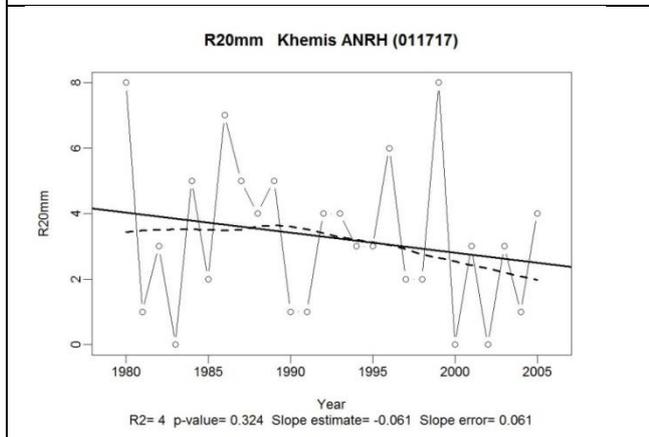
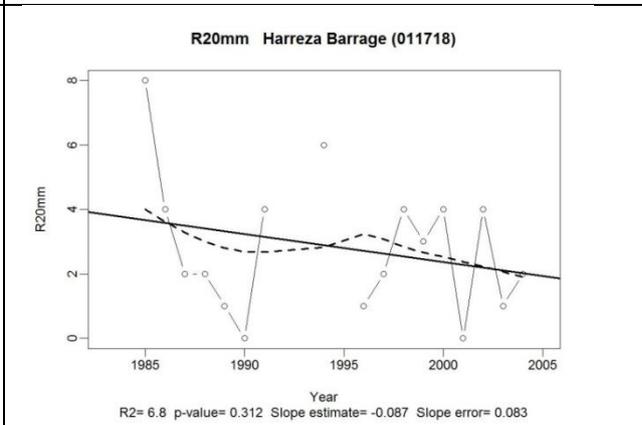
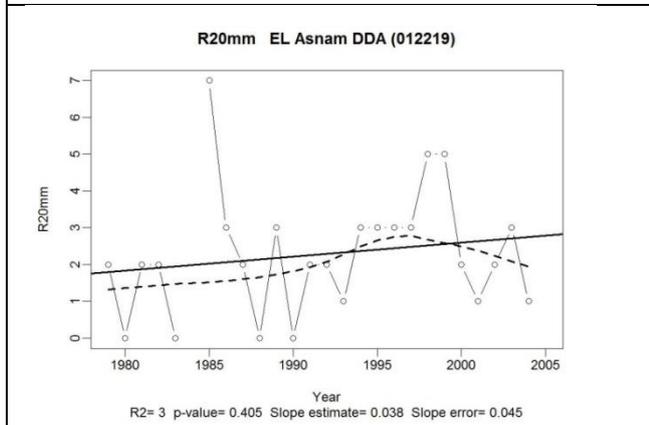
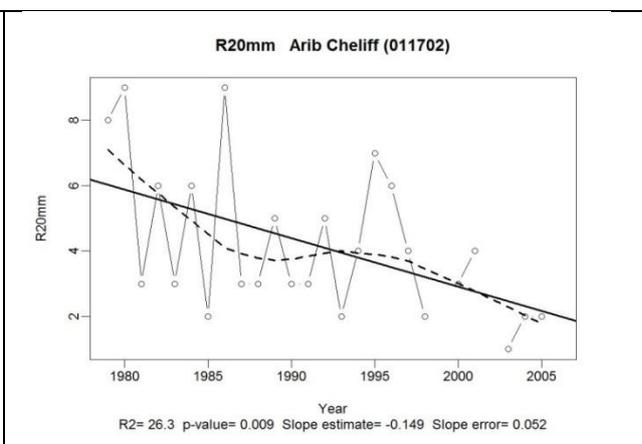
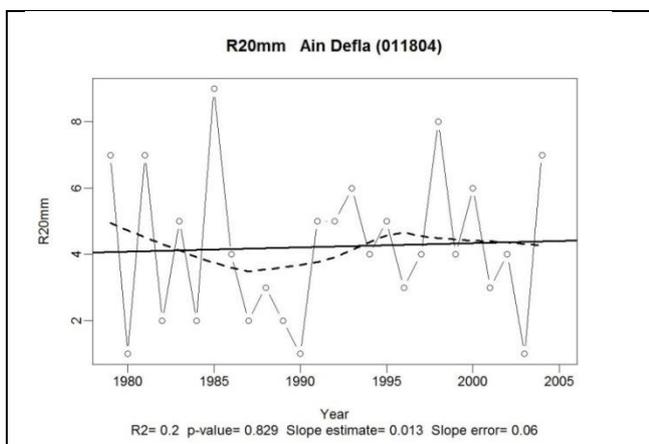


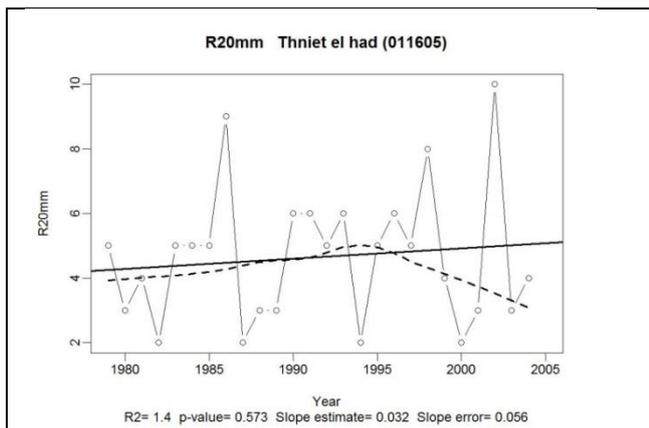
#### 4) Nombre de jours de fortes précipitations (R10)



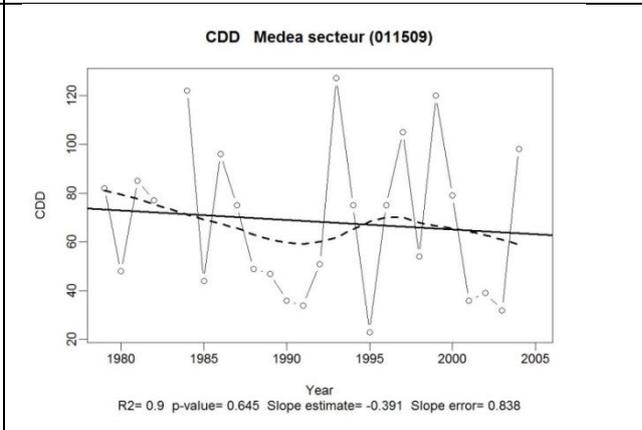
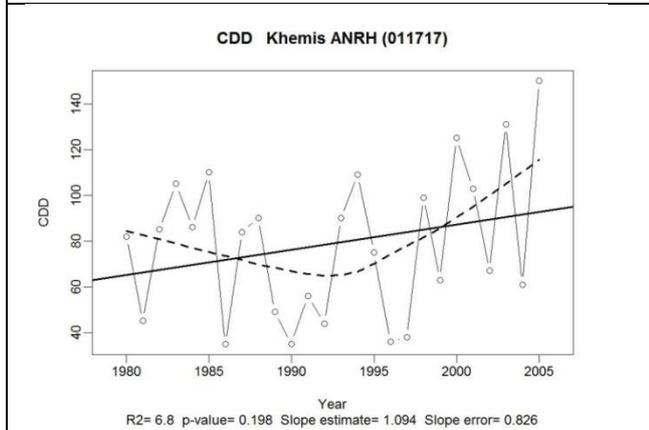
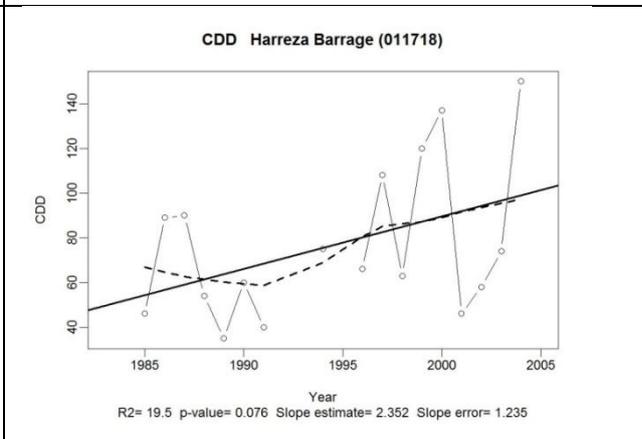
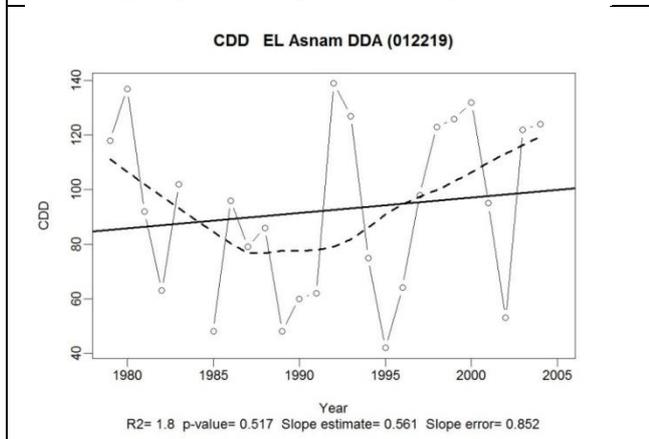
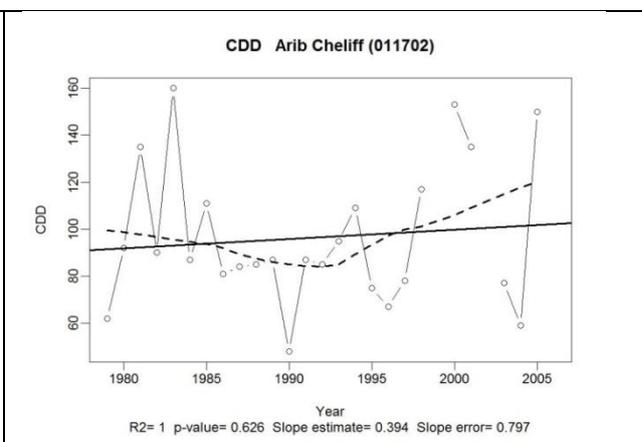
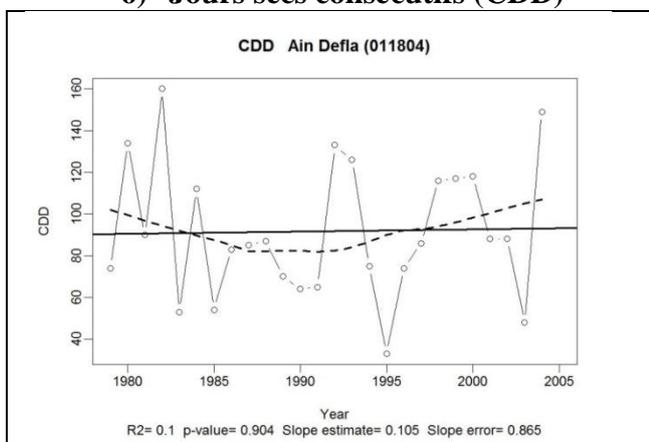


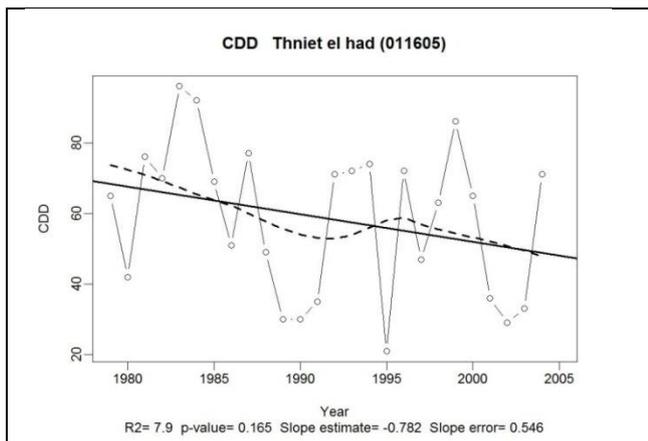
**5) Nombre de jours de très fortes précipitations (R20)**



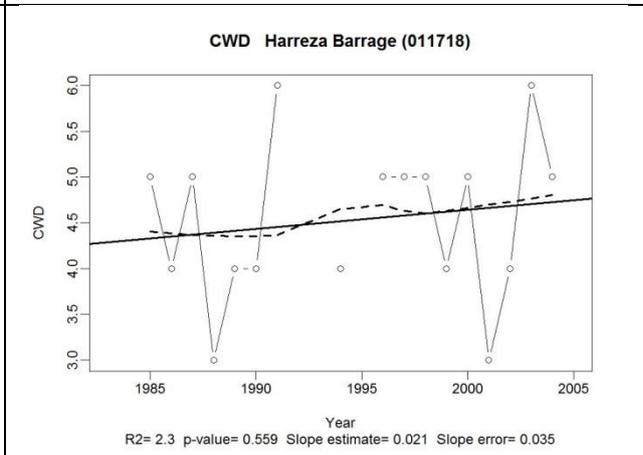
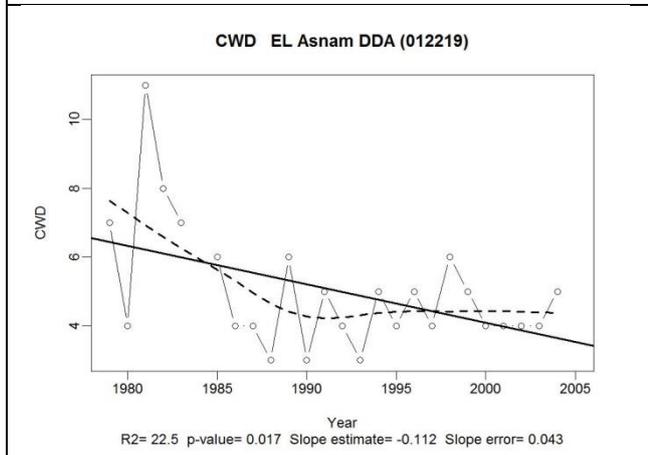
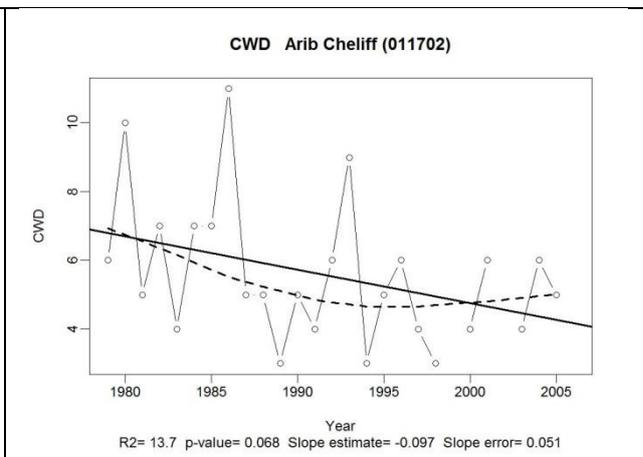
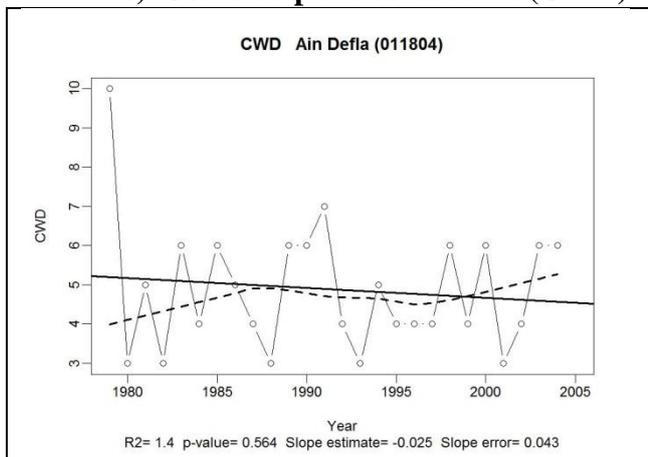


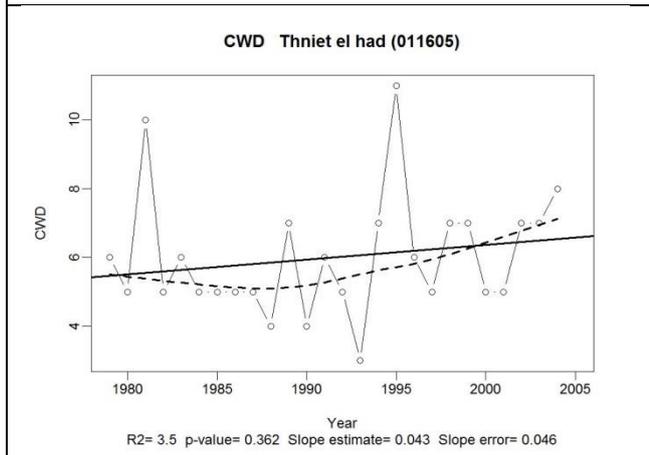
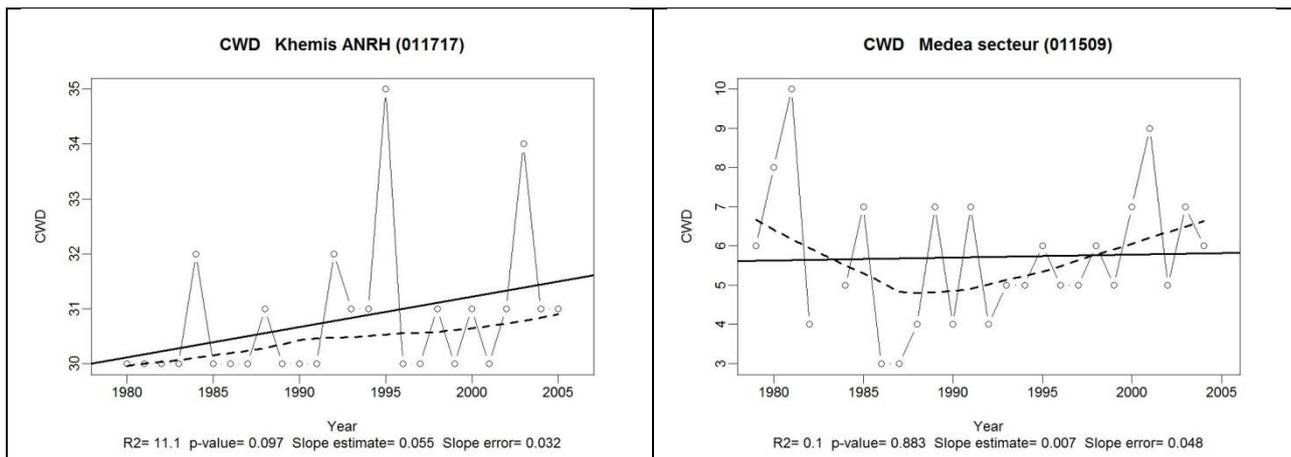
**6) Jours secs consécutifs (CDD)**



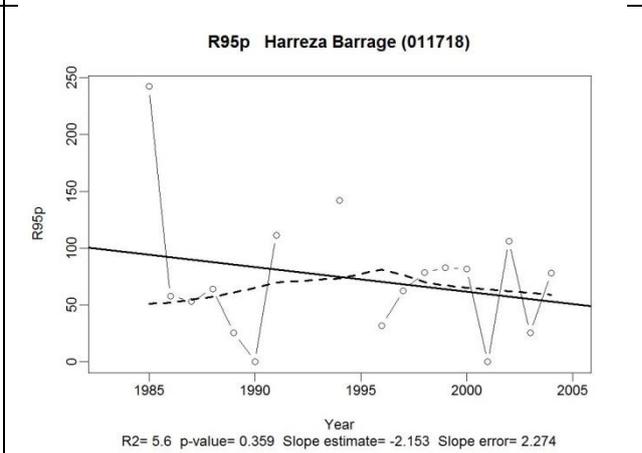
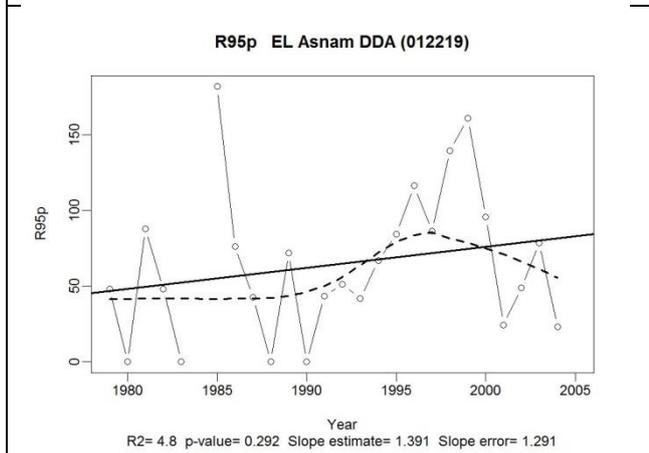
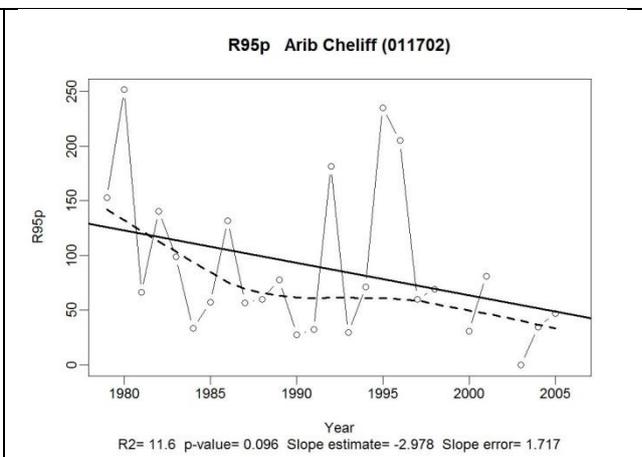
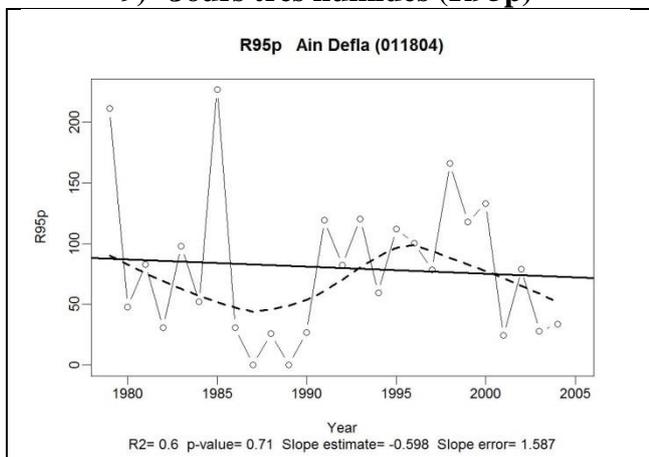


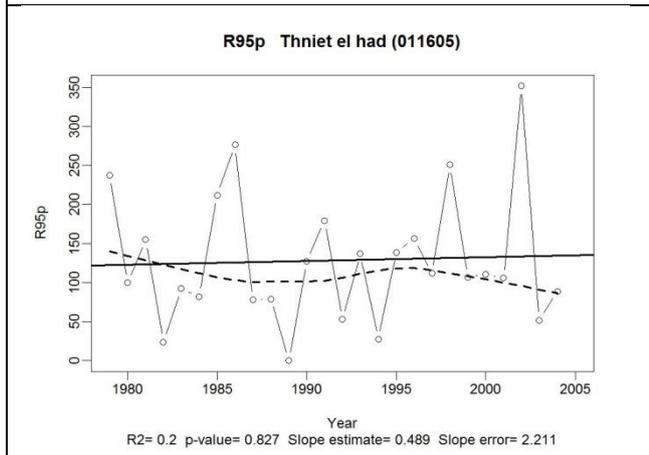
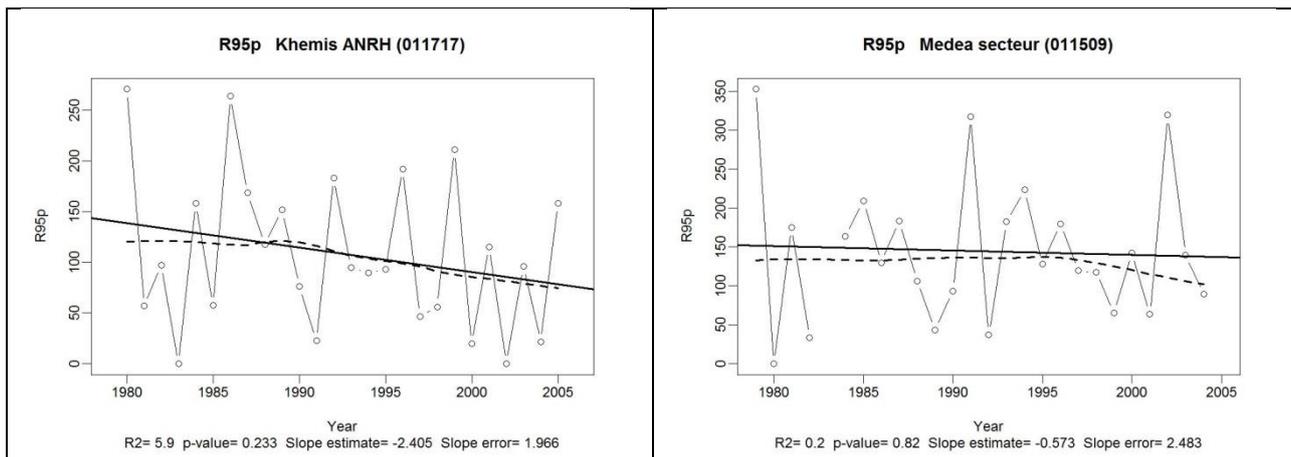
### 8) Jours de pluie consécutifs (CWD)



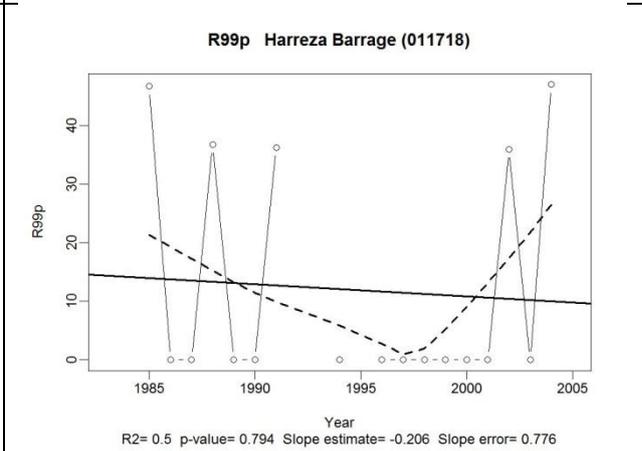
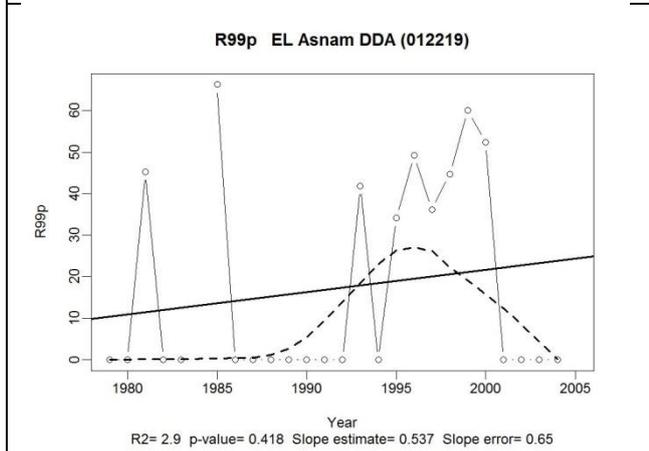
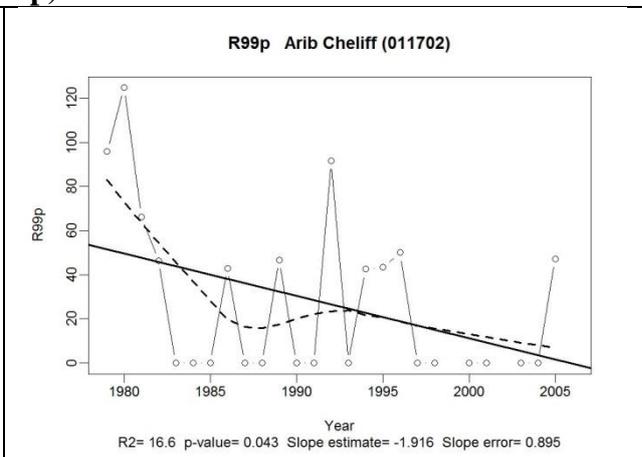
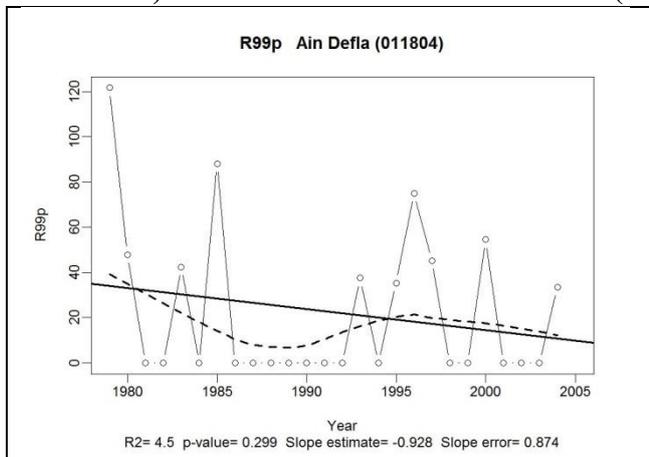


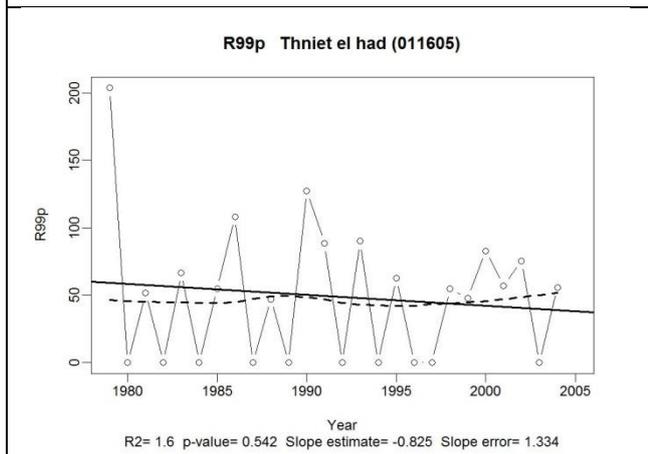
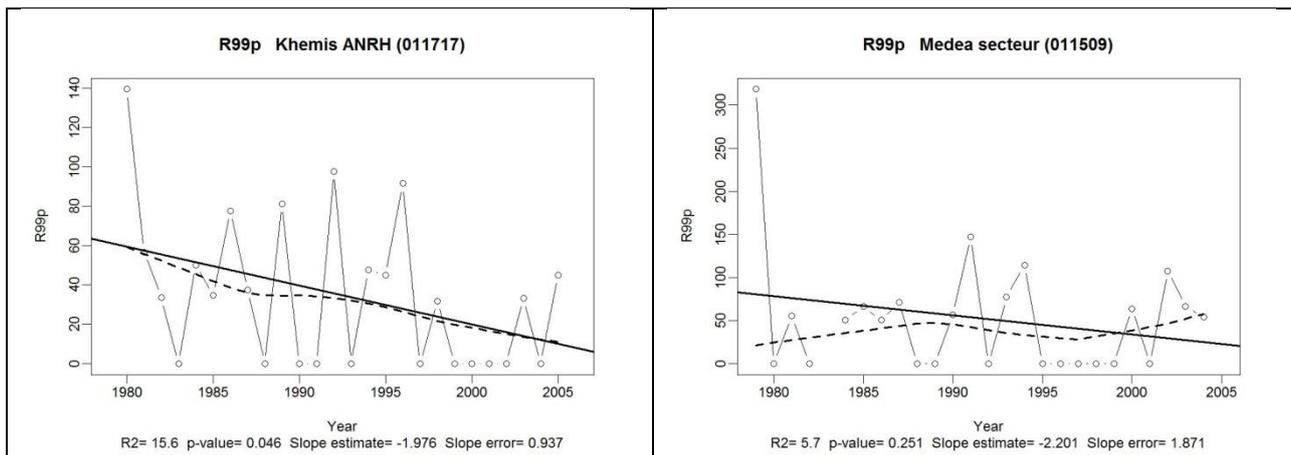
### 9) Jours très humides (R95p)



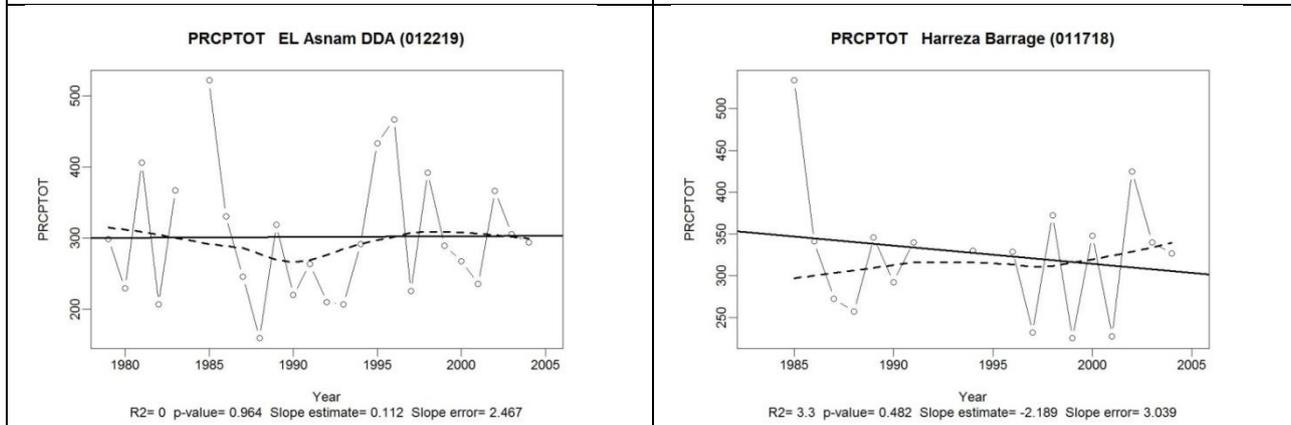
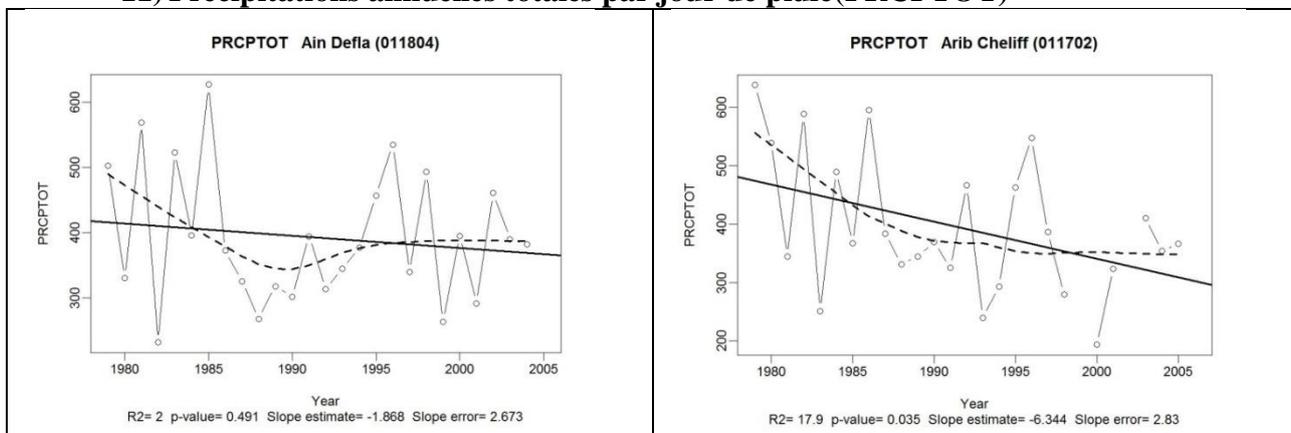


**10) Journées extrêmement humides (R99p)**

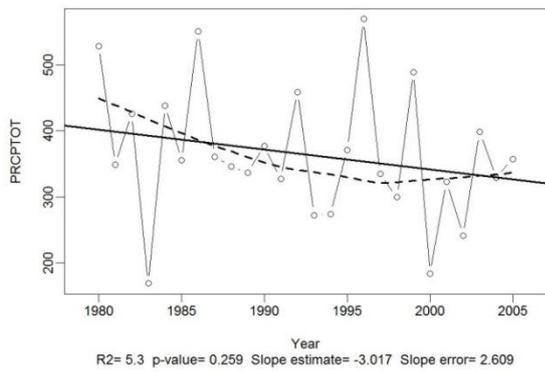




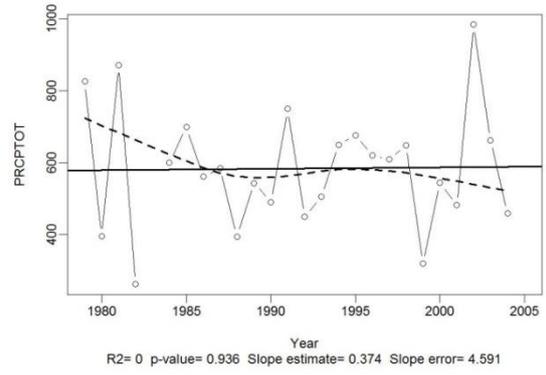
### 11) Précipitations annuelles totales par jour de pluie (PRCPTOT)



**PRCPTOT Khemis ANRH (011717)**



**PRCPTOT Medea secteur (011509)**



**PRCPTOT Thniet el had (011605)**

