

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب - البليدة 1-

Université SAAD DAHLAB –BLIDA 1-



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Département des Sciences de l'Eau et de l'Environnement

MÉMOIRE

Projet de Fin d'Études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Ressources Hydrauliques

Thème :

**Impacts des changements climatiques sur les précipitations et
les températures du Nord de l'Algérie**

Soutenu le 01/07/2018

Présenté par : M^{elle}. MESSELM Imane

Devant le jury :

- | | |
|-----------------------|--------------|
| - Mr. KHOULI. R | Président |
| - Pr. GUENDOZ. H | Examineur |
| - Mme. BOUZOUIDJA. S | Examinatrice |
| - Dr. TAÏBI-FEDDAL. S | Promotrice |

Promotion 2017/2018

Remerciements

Je tiens à exprimer toutes mes reconnaissances et mes remerciements à الله qui m'a donné la volonté et le courage pour la réalisation de ce travail.

Un grand merci doit être adressé aux membres de ma famille, ma mère, mon père, ma sœur et mes frères pour leur soutien et leur encouragement.

*Je tiens à remercier ma promotrice **Dr. TAIBI. S** de m'avoir orienté, aidé et conseillé.*

Mes remerciements les plus vifs aux membres de jury, et à l'ensemble des enseignants du département des Sciences de l'eau et environnement.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à mes amis

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mon père

Ma chère mère

Ma famille et tous mes amis.

Sommaire

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des Tableaux

Introduction générale	1
I. Synthèse bibliographique	
Partie I : Variabilité climatique observée à l'échelle globale et régionale	3
I.1. Évolution des précipitations et des températures dans le monde selon le GIEC.....	3
I.1.1. Variabilité climatique du bassin méditerranéen.....	5
I.2. Le changement climatique projeté pour le 21ème siècle.....	9
Partie II : Tests statistiques pour la détection de tendances et de ruptures	11
II.1. Tests de détection d'un changement générale dans la distribution	11
II.2. Tests paramétriques de stationnarité et de détection d'une rupture	12
II.3. Tests de détection d'une tendance	13
II.4. Indices pluviométriques de suivi de la sécheresse	13
II. Présentation de la zone d'étude	
Introduction	16
II.1. Situation géographique de la zone d'étude	16
II.2. Le relief	16
II.3. Le climat	18
II.4. Répartition des ressources en eau au nord de l'Algérie	21
II.4.1. Les eaux superficielles	22
II.4.2. Les retenues collinaires	23
II.4.3. Les eaux souterraines	23
Conclusion	24
III. Matériels et méthodes	
Introduction	25
III.1. Matériels	25
III.2. Méthodes	26
III.2.1. Tests statistiques	26
III.2.1.1. Test de tendance de Mann-Kendall et la pente de sen	26
III.2.1.2. Test de Pettitt	27
III.2.3. Indice pluviométrique standardisé	28
III.2.4. Méthode de seuillage	28
Conclusion	29

IV. Résultats et interprétation

Introduction	30
IV.1. variabilité des pluies moyennes du nord de l'Algérie	30
IV.1.1. Description des données	30
IV.1.2. Analyse de la variabilité temporelle des précipitations et détection de rupture	32
IV.1.3. Analyse de l'évolution de la sécheresse par le SPI	35
IV.2. Analyse des pluies extrêmes	40
IV.2.1. Variabilité des pluies extrêmes	40
IV.3. Analyse des températures du Nord de l'Algérie	43
IV.3.1. Variabilité des Températures moyennes annuelles	44
IV.3.2. Analyse des températures minimales et maximales	52
Conclusion	60
Conclusion Générale	61
Références bibliographiques	

ملخص

في الجزائر ، تؤثر الظروف المناخية التي سادت على مدى ثلاثة عقود سلباً على موارد المياه. يهدف هذا البحث إلى دراسة تطور هطول الأمطار ودرجات الحرارة في شمال الجزائر خلال الفترة 1950-2017. للقيام بذلك تم استخدام الاختبارات الإحصائية والأساليب المناسبة. أظهرت النتائج انخفاضاً كبيراً في معدل هطول الأمطار السنوي منذ السبعينيات والثمانينيات مع وجود عجز بنسبة 20 إلى 33% في غرب الجزائر وزيادة في متوسط درجة حرارة منطقة الدراسة حوالي 0.9 درجة مئوية منذ ثمانينات القرن العشرين ، أظهر تحليل هطول الأمطار الغزيرة بطريقة العتبة انخفاضاً في عدد الأيام الممطرة للفئة 5-50 ملم. في حين أن تطور درجات الحرارة الدنيا والقصى يظهر نفس الاتجاه المبين في المقياس السنوي.

مفتاح الكلمات: هطول الأمطار ، الأمطار الغزيرة ، درجات الحرارة ، الاختبارات الإحصائية ، الجزائر

Résumé

En Algérie, les conditions climatiques qui prévalent depuis trois décennies ont une influence négative sur la ressource en eau. Ce travail a pour finalité d'étudier l'évolution des précipitations et des températures du Nord de l'Algérie au cours de la période 1950-2017. Pour ce faire, des tests statistiques et des méthodes appropriées ont été utilisés. Les résultats ont montré une diminution significative des précipitations annuelles depuis les années 70 et 80 avec un déficit de 20 à 33% à l'Ouest Algérien et une augmentation de la température moyenne de la zone d'étude d'environ 0,9 ° C depuis les années 80. L'analyse des pluies extrêmes par la méthode du seuillage a montré une baisse du nombre de jours de pluies correspondant à la tranche 5-50mm. Alors que l'évolution des températures minimales et maximales montre les mêmes tendances qu'à l'échelle annuelle.

Mots-clés: précipitations, extrêmes, températures, tests statistiques, Algérie

Abstract

In Algeria, the climatic conditions that have prevailed for three decades have a negative influence on water resources. This work aims to study the evolution of precipitation and temperatures of northern Algeria during the period 1950-2017. To do this, statistical tests and appropriate methods were used. The results showed a significant reduction in annual rainfall since the 70s and 80s with a deficit of 20 to 33% in western Algeria and an increase in the average temperature of the study area of about 0.9 ° C since the 1980s. The analysis of extreme rainfall by the thresholding method has shown a decrease in the number of rainy days corresponding to the 5-50mm range. While the evolution of minimum and maximum temperatures shows the same trend as on the annual scale.

Keywords: precipitation, extremes, temperatures, statistical tests, Algeria

Liste des abréviations

- ABH : Agence de Bassin Hydrographique
- ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- ETCCDI: Expert Team on Climate Change Detection and Indices
- GES : Gaz à Effet de Serre
- GIEC : Groupe Intergouvernemental des Experts sur le Climat
- NAO : North Atlantic Oscillation (Oscillation nord atlantique)
- OMM: Organisation Mondiale de Météorologie
- ONM : Office National de Météorologie
- P : pluie
- PDSI : Palmer Drought Severity Index
- PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- RCP : Representative Concentration Pathway
- SPI : Standardized Precipitation Index (Indice pluviométrique standardisé)
- T°C : Température
- TT-DEWCE: Task Team on Definitions of Extreme Weather and Climate Events

Liste des figures

Figure 1.1. Évolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012.....	4
Figure 1.2. Changements observés concernant les précipitations annuelles sur les terres émergées.....	5
Figure 1.3. Évolution de la température moyenne à la surface du globe d'ici 2100.....	10
Figure 1.4. Changement de précipitation sur les terres émergées.....	10
Figure 2.1. Situation géographique de la zone d'étude.....	16
Figure 2.2. Principaux reliefs d'Algérie.....	18
Figure 2.3. Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie.....	19
Figure 2.4. Répartition des précipitations annuelles d'Est en Ouest.....	19
Figure 2.5. Découpage de l'Algérie du nord en quatre régions hydrographiques.....	21
Figure 2.6. Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord.....	23
Figure 3.1. Situation géographique des neuf stations météorologiques.....	25
Figure 4.1. Evolution des précipitations avec leur moyenne mobile.....	31
Figure 4.2. Evolution de l'Indice Standardisé des Précipitations de huit stations pluviométriques sur la période 1950-2017.....	36
Figure 4.3. Evolution de l'indice ONI de 1950-2016.....	38
Figure 4.4. Variations annuelles de l'indice NAO hivernal de 1864 à 2017.....	39
Figure 4.5. Évolution des pluies extrêmes au cours des 30 dernières années.....	42
Figure 4.6. Évolution des températures annuelles (1950-2017).....	44
Figure 4.7. Températures maximales et minimales interannuelles.....	45
Figure 4.8. Tendances des températures annuelles par régression linéaire et leurs moyennes mobiles.....	46

Liste des tableaux

Tableau 1.1. Classification de la sècheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).....	14
Tableau 2.1. Températures de l'air moyennes mensuelles et annuelles dans quelques régions du nord de l'Algérie. (1981-2017).....	21
Tableau 2.2. Nombre de barrages et la capacité initiale.....	22
Tableau 2.3. Répartition des petits barrages dans l'Algérie du nord.....	23
Tableau 2.4. Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du Nord.....	24
Tableau 3.1. Caractéristiques géographiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.....	25
Tableau 4.1. Tendance des tests de rupture à l'échelle annuelle.....	32
Tableau 4.2. Tendance des pluies mensuelles selon le test de Mann-Kendall.....	33
Tableau 4.3. Résultats des tests de rupture à l'échelle mensuelle.....	34
Tableau 4.4. Nombre d'années correspondant à chaque classe du SPI pour chaque station durant la période 1950-2017.....	35
Tableau 4.5. Tendance des indices de pluies journalières selon les tests de Man-Kendall et Pettitt.....	41
Tableau 4.6. Tendance des températures annuelles.....	47
Tableau 4.7. Tendance des températures mensuelles et pente de sen associée au test de Mann-Kendall.....	50
Tableau 4.8. Tendance des températures mensuelles selon le test de Pettitt.....	51
Tableau 4.9. Résultats des tests de rupture des températures minimales et maximales.....	52
Tableau 4.10. Tendance des températures minimales selon le test de Mann-Kendall.....	53
Tableau 4.11. Tendance des températures maximales selon le test de Mann-Kendall.....	54
Tableau 4.12. Résultats du test de pettitt appliqué aux températures minimales à l'échelle mensuelle.....	58
Tableau 4.13. Résultats du test de pettitt appliqué aux températures maximales à l'échelle mensuelle.....	59

Introduction générale

Le changement climatique constitue aujourd'hui une préoccupation mondiale, impliquant à long terme des interactions complexes entre facteurs environnementaux et conditions économiques, politiques, sociales et technologiques.

Les études menées sur les changements climatiques montrent qu'au Maghreb le réchauffement climatique est plus important que la moyenne. Si au niveau mondial, la hausse a été évaluée à $0,74^{\circ}\text{C}$ ($0.56^{\circ}\text{C} \pm 0.9^{\circ}\text{C}$) au 20^{ème} siècle, elle a été située entre 1°C - 2°C dans le bassin méditerranéen et la région de l'Afrique du Nord (GEIC, 2001 ; Hansen et al., 2006 ; GIEC, 2007). Selon les différents scénarios d'émissions (Ragab al., 2002 ; GIEC, 2007) plusieurs modèles de circulation générale (GCM) prédisent une augmentation de la température de $0,7^{\circ}\text{C}$ à plus de 4°C jusqu'à 2100.

Les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 2007, 2013) ont indiqué que le réchauffement du système climatique est sans équivoque. En outre, les précipitations ont augmenté de manière significative dans certaines parties de l'Amérique, de l'Europe et de l'Asie (Solman, 2013). Elles ont diminué dans la région méditerranéenne, le Sahel, en Afrique australe et dans certaines parties de l'Asie du Sud à différentes échelles temporelles et spatiales (Tramblay et al, 2012; Kosanic et al, 2014).

Les prévisions pour le changement climatique convergent vers une augmentation de la température et une élévation du niveau moyen des mers (Servat et al. 2007).

Les évènements extrêmes (sécheresse, pluviométrie déficitaires, augmentation des températures) ont eu des conséquences néfastes sur la satisfaction des besoins en eau de tous les secteurs socio-économiques, en particulier agricoles, et sur la préservation des écosystèmes terrestres et aquatiques.

En Algérie, de nombreuses études ont montré une tendance à la baisse des précipitations dans la région du Nord-Ouest (Meddi et Hubert, 2003 ; Meddi et al. 2009 ; Taibi et al. 2013). L'Algérie a souffert de plusieurs périodes de sécheresse au cours de ces vingt dernières années, une sécheresse intense et persistante. Cette sécheresse, caractérisée par un important déficit pluviométrique, a touché l'ensemble de l'Algérie et plus particulièrement sa partie nord-occidentale. Des sécheresses analogues, aussi bien en amplitude qu'en intensité, ont déjà été observées au début du 20ème siècle, entre 1910 et 1940 (Medjerab et al. 2011).

En Algérie, le niveau de satisfaction des besoins en eau domestiques et agricoles n'a cessé de baisser au cours des dernières années (Meddi et Hubert, 2003) à cause de la diminution de la moyenne annuelle des précipitations qui a commencé autour de la deuxième moitié des années 1970 (Medjerab et al. 2011 ; Taibi et al. 2013).

C'est dans ce contexte que nous avons mené ce travail dans le but d'analyser la variabilité du climat des différentes régions du Nord de l'Algérie et en particulier l'évolution des événements extrêmes. Ce travail est un complément aux nombreuses études déjà réalisées dans ce sens à travers l'actualisation des données jusqu'à 2017. Les données utilisées dans les études les plus récentes ne dépassent pas 2010.

Ce travail s'organise autour de quatre chapitres :

- Le premier chapitre se divise en deux parties, la première dresse une synthèse bibliographique qui présente brièvement quelques informations sur le changement climatique, son impact sur le cycle hydrologique et les ressources en eau, les projections climatiques à l'échelle mondiale et régionale dans le but d'offrir les éléments clés pour la lecture du reste du travail. La deuxième partie est consacrée pour la présentation des différents tests et méthodes utilisés dans la détermination du régime climatique et leurs applications.
- Le second chapitre présente une description générale de la zone d'étude à travers une situation des bassins hydrographiques, leurs caractéristiques morphologiques et leurs ressources en eaux naturelles et superficielles.
- Le troisième chapitre s'intéresse à la présentation de matériels utilisés ainsi que la méthodologie adoptée pour l'analyse des sécheresses, pluies extrêmes et températures.
- Enfin, le quatrième et dernier chapitre porte sur la discussion et l'analyse des résultats concernant l'évolution des précipitations et des températures au cours de ces 68 dernières années.

CHAPITRE -I-

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Partie I : Variabilité climatique observée à l'échelle globale et régionale

I.1. Évolution des précipitations et des températures dans le monde selon le GIEC (GIEC, 2013)

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) est l'organisme international chargé d'évaluer les activités scientifiques consacrées aux changements climatiques. Il a été créé en 1988 à la demande du G7 (groupe des 7 pays les plus riches : USA, Japon, Allemagne, France, Grande Bretagne, Canada, Italie) par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), et a été ratifié par l'Assemblée générale des Nations Unies. Il a pour but d'offrir aux décideurs des évaluations régulières concernant les aspects scientifiques du changement climatique, ses conséquences et les risques à venir, ainsi que les possibilités d'adaptation et d'atténuation.

Depuis 1990, le GIEC a présenté une série de rapports d'évaluation, rapports spéciaux, notes techniques, méthodologies et autres documents devenus des ouvrages de référence largement utilisés par les gouvernants, les scientifiques et d'autres experts.

Jusqu'à maintenant, le GIEC a présenté quatre rapports concernant les changements climatiques, à savoir le rapport 1 en 1992, le rapport 2 en 1995, le rapport 3 en 2001, le rapport 4 en 2007 et le rapport 5 en 2013. Chaque nouveau rapport apporte soit une confirmation soit un complément de ce qui a été déjà fait ou observé auparavant.

Dans son 5^{ème} rapport, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat a indiqué que le réchauffement climatique est sans équivoque, et depuis les années 1950, les changements observés sont sans précédent depuis un millénaire. L'atmosphère et les océans se sont réchauffés, la quantité de neige et de glace a diminué, le niveau de la mer a augmenté et la concentration de gaz à effet de serre (GES) a augmenté. Chacune des trois décades précédentes a été la plus chaude jamais constatée depuis 1850 (fig.1.1).

Dans l'hémisphère nord, les trente dernières années (1983 à 2012) ont été probablement les plus chaudes depuis 1400 ans. Les reconstructions à l'échelle des continents montrent (confiance haute) que certaines périodes multi-décennales pendant l'Anomalie Climatique Médiévale (appelée parfois Optimum Climatique du Moyen-âge) ont été aussi chaudes qu'à la

fin du 20^{ème} siècle. Ces périodes chaudes régionales ne se sont cependant pas étendues à l'échelle du globe, comme c'est le cas actuellement.

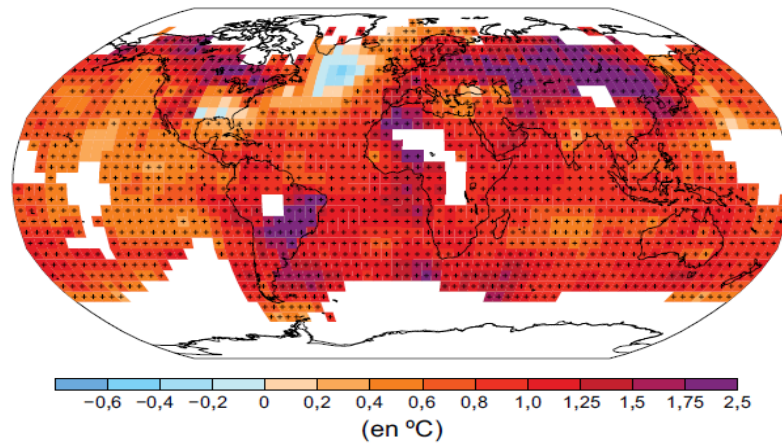


Figure 1.1. Évolution de la température en surface observée entre 1901 et 2012 (GIEC 2013)

En plus des variations multi-décennales, les températures peuvent fluctuer substantiellement à l'échelle de la décennie ou des années. À cause de la variabilité naturelle, les tendances basées sur des périodes courtes sont très sensibles aux dates de début et de fin. C'est pourquoi le réchauffement calculé sur la période 1998-2012, qui a commencé par un fort El Niño (oscillation naturelle de l'océan qui réchauffe l'ensemble du climat sur période de plusieurs années), est plus petit (0,05 °C) que celui calculé sur la période 1951-2012 (0,12° C).

Il est quasiment certain que la troposphère (couche de l'atmosphère allant du sol jusqu'à 8 à 15 km d'altitude) s'est réchauffée depuis le milieu du 20^{ème} siècle.

Concernant les précipitations, des changements dans les phénomènes météo extrêmes ont été observés depuis 1950. Le GIEC suppose que la baisse de nombre de jours et de nuits froides soit plus importante par contre le nombre de jours et de nuits chaudes a augmenté. L'Europe, l'Asie et l'Australie ont vécu des vagues de chaleur plus fréquentes. Il est probable que le nombre de régions dans lesquelles les précipitations violentes ont augmenté est plus important que les régions dans lesquelles elles ont diminué. Une tendance à la hausse de la fréquence et de l'intensité des fortes précipitations est clairement observée en Amérique du Nord et en Europe. Dans les autres continents, le degré de confiance dans les relevés est moyen

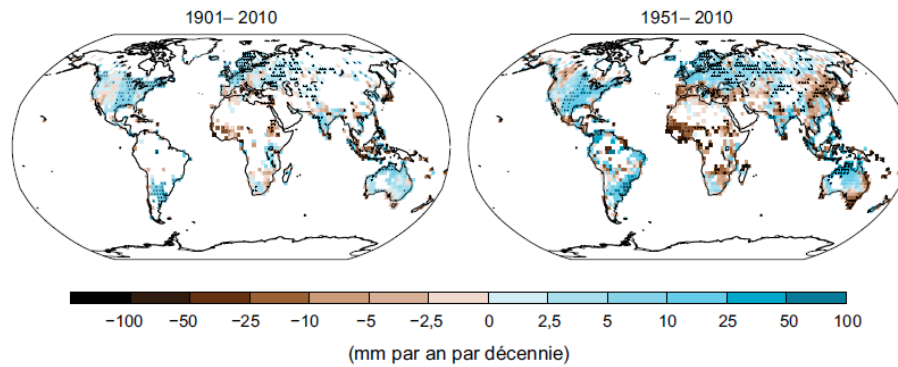


Figure 1.2. Changements observés concernant les précipitations annuelles sur les terres émergées (GIEC 2013)

Une tendance significative à la hausse des précipitations a été observée, dans l'hémisphère Nord, pour les terres émergées, a augmenté aux latitudes moyennes et élevées (de 30° à 60° de latitude Nord). Par contre, dans les zones subtropicales (de 10° à 30° de latitude Nord), les pluies ont en moyenne connu une baisse probablement d'environ 0,3% par décennie (GIEC, 2007, 2013). Une baisse des précipitations a été observée dans la Méditerranée, l'Afrique du Sud, l'Australie et la partie ouest de l'Asie. (figure1.2).

I.1.1. Variabilité climatique du bassin méditerranéen (Bullet, 2008) :

Le bassin méditerranéen s'étale sur une superficie de 1 753 850 km² et regroupe tous les pays riverains de la Méditerranée. Le climat de la région méditerranéenne est de type tempéré, caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides, soit deux saisons pluvieuses d'automne et de printemps et une sécheresse estivale. Il est cependant très contrasté entre l'aridité des pays du Sud et l'humidité des pays du Nord, avec des précipitations pouvant être très intenses et entraînant des crues catastrophiques, comprises entre 600 mm et 1000 mm pour les pays du Nord et proche de 400 mm pour certains pays du Sud. La saison sèche dure en moyenne de un à deux mois au Nord, à plus de quatre mois, jusqu'à six ou sept, au Sud et à l'Est.

La variabilité des précipitations du bassin méditerranéen est associée à des périodes de sécheresses de plus en plus importantes. En plus de la variabilité intra-annuelle s'ajoute une variabilité interannuelle très marquée.

La variabilité des températures extrêmes présente des signes d'augmentation, notamment en été : les vagues de chaleur estivale augmentent et les vagues de froid diminuent en hiver.

Toutefois on ne détecte pas à l'heure actuelle de changement notable sur certains aspects du climat : les tempêtes ou les précipitations intenses.

La région méditerranéenne dispose seulement de 3% des ressources en eau du monde alors qu'elle représente 7,3% de la population mondiale. Près de 60% de la population mondiale pauvre en eau < 1000m³/hab/an (l'état de pénurie absolue), soient 150 millions d'habitants, se concentrent dans les seuls pays méditerranéens du Sud et du Proche-Orient. Les pays méditerranéens disposent en moyenne par an, d'environ 1200 milliards de m³ d'eau superficielle (pour les 3/4) ou souterraine : à peine 30% proviennent d'apports réguliers et 50% seulement sont des ressources exploitables. Ces apports sont très inégalement répartis entre le Nord (71%), le Sud (9%) et le Proche-Orient (20%).

Au cours des dernières années, de nombreuses études se sont intéressées à l'évolution temporelle des précipitations et des températures dans les différents pays de la méditerranée. La plupart de ces études ont noté une baisse des précipitations et une hausse des températures observées depuis la moitié années 70.

L'étude menée par Philandras et al. (2011) a montré que la région méditerranéenne (Portugal, l'Espagne, France, l'Italie, Malte, Croatie, Bosnie, Grèce, Turquie, Syrie, Liban, Egypte, Libye, Tunisie, Algérie, Maroc) a connu au cours de la période 1951- 2010 une diminution des précipitations pendant les années 1980, une diminution de 20% de nombre annuel de jours de pluie apparait dans la région orientale.

L'analyse du régime climatique en Grèce sur différentes périodes allant de 1900 à 1999, révèle que certaines parties de la Grèce ont connu une baisse significative des précipitations observée à partir des années 1980, et que la période 1980-1999 a enregistré des précipitations inférieures à la normale (Pnevmatikos et al. 2007). La Turquie semble aussi être affectée par les variabilités climatiques, Unal et al. (2010) ont montré une diminution des précipitations annuelles de la saison sèche et humide dans tout le pays sauf dans les cotes nord-est et la partie ouest de la Turquie. Les travaux de Bartolini et al. (2017) ont indiqué des changements dans le régime pluviométrique en Toscane (Italie centrale) durant la période 1955-2013, des tendances à la hausse statistiquement significatives ont été observées dans la partie nord de la Toscane, tandis que des tendances à la baisse ont été observées dans le sud. Sinoga et al. (2010) ont constaté qu'il existe un changement dans la variabilité temporelle des précipitations dans le sud de l'Espagne au cours de la période 1960-2006, avec une tendance à la baisse des précipitations saisonnières, particulièrement en hiver, en automne et au printemps, pour toutes les stations sauf celles de la côte ouest. Alors qu'en Portugal, une

tendance décroissante significative des précipitations a été identifiée au cours de la période 1931-2006 (Mourato et al. 2006).

Concernant l'évolution des températures moyennes, Gonzalez-Hidalgo et al. (2015) ont montré une augmentation significative des valeurs maximales de la température moyenne mensuelle à la fin de l'hiver / au début du printemps et en été, tandis que les valeurs minimales de la température moyenne mensuelle ont augmenté en été, au printemps et en automne dans les régions du sud de l'Espagne. En Grèce, l'analyse de la température de plus de 40 ans (1960-2004) a révélé des tendances à la hausse, les plus marquées ont été enregistrées en été (A. Mamara et al. 2012). Egalement, le sud de la France a connu une augmentation de la température moyenne de 0,9 C° entre 1900-2000 (Météo France, 2009).

Les conditions climatiques actuelles ont aussi bouleversé le climat de l'Afrique du Nord au cours de ces dernières années qui s'exprime par une baisse des précipitations confirmée dans plusieurs pays dont la Tunisie (Barguaoui, 2013), le Maroc (Amyay, 2012) et l'Algérie (Taibi et al., 2013) les travaux de Bargaoui (2013), ont montré, une sous-estimation des précipitations saisonnières en moyenne de 20%, et une diminution significative des précipitations pour l'hiver et le printemps, au cours de la période 1961-2000. L'étude menée par Amyay (2012), au cours de la période 1935-2010, a indiqué une sécheresse remarquable durant la période (1981-2007), interrompue par quelques années excédentaires (1989, 2003), cette analyse a bien identifié le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée à partir de la fin des années soixante-dix.

L'analyse du régime pluviométrique du Nord de l'Algérie établie sur la période de (1936–2009), a détecté un déficit pluviométrique entre 16 et 43% dont les décennies 80 et 90 étaient les plus déficitaires (Taibi et al. 2013). Une diminution de la pluviométrie annuelle, a été aussi enregistrée sur la période 1968-2001 sur l'ensemble du bassin du Chellif. De plus, des tendances saisonnières des précipitations ont été observées en hiver et au printemps. (El-Meddahi, 2016)

Le Maroc a enregistré une diminution de jours frais de l'ordre 25 jours en 45ans (1960-2005), ainsi que les indices thermiques (sécheresse, aridité, total annuel de jours chauds/froids, vagues de chaleurs/froids, indiquent une tendance vers le réchauffement (Driouech, 2008).

Les événements extrêmes qui se traduisent par des vagues de chaleur, pluies torrentielles, inondations, sécheresse extrême, sont des phénomènes qui font du changement climatique un sujet d'actualité brûlant. Ce sont plutôt ces phénomènes climatiques extrêmes

qui affectent davantage l'écosystème et différents secteurs socio-économiques. Au cours de ces dernières années les extrêmes climatiques ne cesse pas de provoquer des dégâts. Les canicules estivales sur l'Europe centrale et d'ouest en 2003 (PNUE, 2004), et sur l'Europe centrale et du sud-est en 2007, et sur le sud-est des Etats-Unis l'ouragan Katrina en 2005, (Le Monde, 2005,2007). Tous ces événements peuvent, sans exagération, être qualifiés d'historiques, du moins à l'échelle régionale. Selon le 4ème rapport du GIEC (2007), depuis cinquante ans, dans plusieurs régions du monde, des indices d'un changement pour différents types d'événements climatiques extrêmes ont été décelées. Néanmoins, il n'est à ce jour pas possible de démontrer que les événements météorologiques récents sont le signe d'un changement climatique.

En règle générale, la rareté relative et la grande variabilité géographique des phénomènes météorologiques violents complique singulièrement la détection de leur éventuelle évolution. (GIEC, 2001).

En Turquie, un réchauffement important dans les enregistrements annuels de température maximale et minimale a été observé au cours de la période 1961-2008. En ce qui concerne les températures maximales, les tendances croissantes en période chaude sont relativement plus fortes que les périodes froides. Il y a également des tendances à la hausse de la température minimale annuelle durant les périodes chaudes, alors qu'aucun changement n'a été détecté dans les températures minimales des périodes froides. Les observations indiquent que la température a commencé à augmenter au début des années 1980 (Toros, 2011).

Ageena et al. (2012) ont analysé les variations des températures minimales mensuelles et journalières de La Libye de 1945 à 2009, les résultats ont révélé un réchauffement significatif sur la période 1983-2009, des augmentations significatives de la température minimale saisonnière ont été identifiées en (1945-1977 et 1978-2009) et annuelle sur la période 1978-2009.

En se basant sur les observations quotidiennes des températures maximale et minimale et des précipitations au Maroc, Filahi et al. (2015), ont étudié les tendances à la base des données fournies à partir de 20 stations météorologiques au cours de la période 1970-2012, les résultats mettent en évidence une augmentation de la température dans la zone d'étude, une diminution du nombre de jours et de nuits froides et une augmentation du nombre de journées et de nuits chaudes.

L'analyse de la variabilité des précipitations moyennes et journalières du Nord de l'Algérie sur la période 1940-2010 a mis en évidence une baisse significative des précipitations annuelles au Nord-Ouest de l'Algérie associée à une réduction des précipitations en hiver et

au printemps. Or, L'analyse des pluies journalières a montré que les extrêmes de pluies n'ont pas connu de changement significatif dans leur évolution temporelle pendant la période d'étude (Taïbi. 2016).

Une analyse des pluies journalières extrêmes du bassin du Chélif a été établie par Taïbi et al. (2017) Sur la période 1971–2010, et ont trouvé une diminution des pluies totales et l'intensité journalière de certaines stations. Or, la tendance est faiblement significative pour les pluies intenses à rares, ceci veut dire que les fortes pluies du bassin du Chélif n'ont pas connu un changement significatif dans leur évolution temporelle au cours de la période d'étude.

L'analyse de la variabilité des précipitations maximales journalières dans le nord-ouest de l'Algérie (cas bassin de la Tafna) a montré une tendance significative à la baisse au milieu des années quatre-vingt-dix (Belarbi 2010).

I.2. Le changement climatique projeté pour le 21^{ème} siècle

Le climat à venir est notamment fonction des émissions ou concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols dues aux activités humaines. Or, les émissions humaines dépendent de notre consommation énergétique : chauffage et climatisation, transports, production de biens de consommation, activités agricoles, etc. Pour réaliser des projections climatiques, il faut donc émettre des hypothèses sur l'évolution de la démographie mondiale et des modes de vie à travers la planète, pour ce faire des scénarios dits climatiques sont lancés pour la prédiction du climat future.

Dans son 5^{ème} rapport, le GIEC prédit que d'ici la fin du 21^{ème} siècle l'augmentation de la température à la surface du globe sera probablement supérieure à 1,5 °C par rapport à l'époque allant de 1850 à 1900 (fig.1.3). En outre, les régions continentales seront au risque d'avoir plus des extrêmes chauds que des extrêmes froids à l'échelle quotidienne ainsi qu'à l'échelle saisonnière.

Les simulations climatiques de longue durée issues de modèles ont indiqué une tendance à la hausse de la température planétaire entre 1951-2012, ce qui est cohérent avec les tendances observées. Tandis qu'une réduction de réchauffement a été observée sur la période 1998-2012, ce qui est due probablement à la réduction du forçage radiatif.

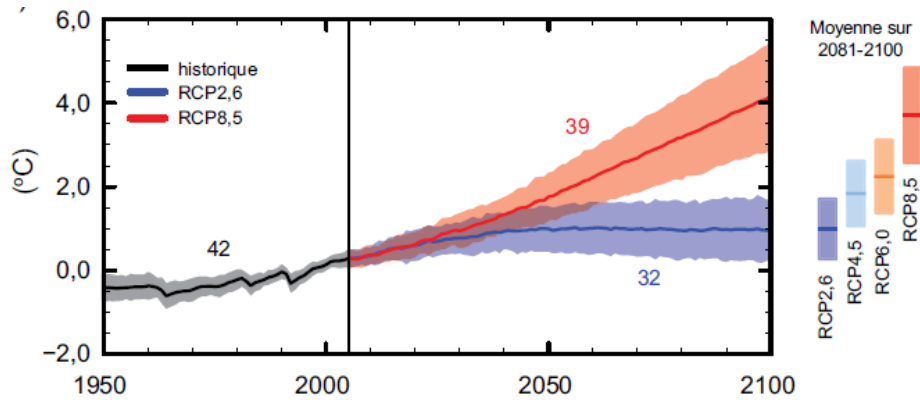


Figure 1.3. Évolution de la température moyenne à la surface du globe d'ici 2100 (pour différents scénarios climatiques RCP (GIEC, 2013).

D'après la (figure 1.3) tous les RCP envisagés à l'exception du RCP2,6 indiquent que le réchauffement se poursuivra après 2100 et il est probable qu'il dépassera 2°C selon les RCP6,0 et RCP8,5. Il continuera à présenter une variabilité interannuelle à décennale et ne sera pas uniforme d'une région à l'autre.

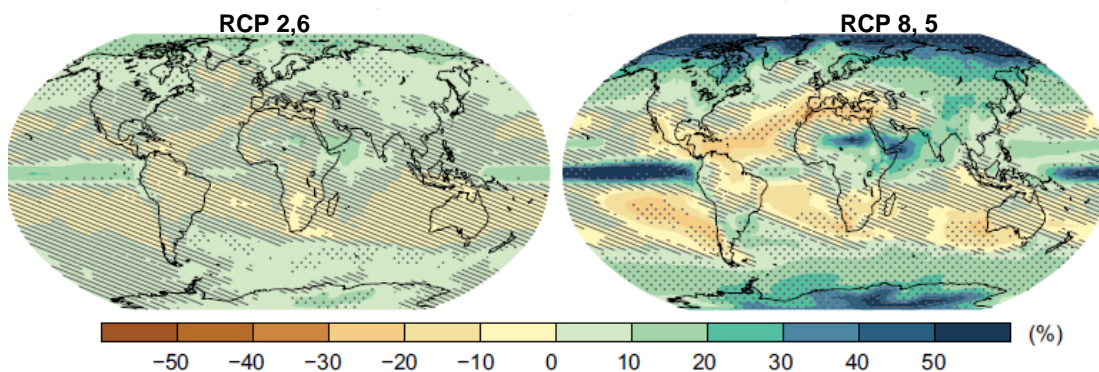


Figure 1.4. Changement de précipitation sur les terres émergées projeté entre (1986-2005 et 2081-2100) (GIEC 2013)

Une augmentation significative des précipitations aura lieu probablement aux latitudes élevées et l'océan Pacifique équatorial d'ici la fin de ce siècle. Par contre dans les régions des moyennes latitudes et dans les régions subtropicales arides, les pluies à la surface des terres émergées auront tendance à diminuer, tandis que dans de nombreuses régions humides des moyennes latitudes, les précipitations moyennes augmenteront probablement d'ici 2100 (figure 1.4).

Partie II : Tests statistiques pour la détection de tendances et de ruptures

L'étude de l'évolution de la variabilité récente du climat, est devenue une priorité pour beaucoup de chercheurs. De nombreuses études ont été effectuées dans ce contexte. Pour ce faire, les séries de données chronologiques sont soumises aux tests de tendance sur les valeurs annuelles et mensuelles, afin de détecter tout changement probable dans le temps.

Définition de la stationnarité :

Une série chronologique est dite stationnaire si ses propriétés sont invariables dans le temps.

La littérature hydrologique s'intéresse plus particulièrement à deux formes majeures de non stationnarité; les tendances et les ruptures.

- **une rupture** désigne une modification subite dans les propriétés d'un processus aléatoire.

- **Une tendance** est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire.

On peut noter par ailleurs qu'une série peut présenter des fluctuations notables dans le temps sans qu'il y ait véritablement une direction privilégiée. Ces variations traduisent la variabilité intrinsèque des séries hydrologique et climatique.

La stationnarité est donc l'étude de changement des éléments climatiques d'une série chronologique

II.1. Tests de détection d'un changement générale dans la distribution :

Pour savoir si une série est stationnaire ou non, nous testerons les distributions avant ou après une date sont identiques. Dans ce cas nous pouvons appliqués des tests de comparaison de distribution :

- **Test de Khi-deux (χ^2)** : Le test du Khi-deux (χ^2) est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse H_0 selon laquelle les données observées sont engendrées par un modèle faisant intervenir une loi de probabilité, ou une famille de lois de probabilité.
- **Test de KOLMOGROV- SMIRNOV**: Le test de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse H_0 selon laquelle les données observées sont engendrées par une loi de probabilité théorique considérée comme

étant un modèle convenable. Mais contrairement au test du Khi-deux, la loi théorique doit ici être continue et entièrement spécifiée, sans paramètre inconnu.

II.2. Tests paramétriques de stationnarité et de détection d'une rupture:

Un test est dit **paramétrique** s'il est construit sur une hypothèse bien précise quant à la forme de la population en jeu. Dans la plupart des cas, ces tests sont basés sur la considération de la loi normale et supposent donc explicitement l'existence d'une variable aléatoire de référence X suivant une loi normale. Un test est dit **non paramétrique** s'il ne fait pas appel à des paramètres ou des hypothèses précises concernant la distribution sous-jacente (Taibi, 2017).

Parmi les tests paramétriques on retrouve :

-Test de Student : Le test de Student relatif à la comparaison de la moyenne de deux populations peut être utilisé pour évaluer l'existence d'un changement brutal dans la moyenne d'une population. Ce test consiste à vérifier si la moyenne des données situées avant le point de changement est significativement différente de la moyenne des données situées après ce changement.

- Test des déviations cumulées (Craddock, 1979) : Le test des déviations cumulées peut être utilisé pour détecter la présence d'un changement brutal dans la moyenne d'une série de données. Ce test suppose que les données soient indépendantes et normalement distribuées.

-Approche Bayésienne de Lee et Heaghinian : Lee et Heaghinian ont proposé une méthode (1977) basée sur l'approche bayésienne pour calculer les distributions marginales et jointes a posteriori des paramètres τ et δ , correspondant respectivement au moment et à l'amplitude du changement. Cette procédure permet ainsi d'associer une probabilité à chaque valeur des paramètres τ et δ .

Les tests non paramétriques les plus utilisés sont :

-Test de Wilcoxon : le test de Wilcoxon peut être utilisé pour évaluer s'il existe une différence significative entre la moyenne d'une série avant et après le point de rupture. Évidemment, il faut connaître a priori le moment de la rupture pour être en mesure d'effectuer ce test.

-Test de Mann : Le test de Mann (1945) est utilisé pour tester si les données d'une série sont ordonnées aléatoirement contre l'alternative d'une tendance dans le temps. Considérons les rangs r_i des n observations rangées en ordre chronologique.

-**Test de Kendall** : Le test d'indépendance de Kendall (1976) peut être utilisé pour tester la stationnarité d'une série de données. Il consiste à assigner une valeur de I à chacune des observations x supérieure ou inférieure à l'observation la précédant et à l'observation la suivant.

-**Test de Pettitt** : Pettitt (1979) a proposé un test qui est basé sur la statistique de Mann-Whitney (1947). Ce test permet de déterminer à quelle date un changement a pu se produire dans la moyenne d'une série de données chronologiques de taille N .

II.3. Tests de détection d'une tendance :

-**Le rho de Spearman** : il s'agit d'un test basé sur le rang, c'est le coefficient de corrélation de Spearman qui permet d'étudier l'existence de relation entre deux variables.

- **Test de Mann-Kendall** : c'est aussi un test basé sur le rang similaire au rho de Spearman (même puissance), mais en utilisant une méthode différente de corrélation.

-**Régression linéaire** : le test statistique d'une régression linéaire est la pente de la régression. C'est l'un des tests les plus communs pour la détection d'une tendance, il suppose que les données soient normalement distribuées.

II.4. Indices pluviométriques de suivi de la sécheresse:

De nombreux indices de sécheresse ont été élaborés et proposés pour évaluer et détecter l'apparition de séquences sèches. Cependant, la plupart des indices utilisés nécessitent de nombreux paramètres hydro-climatiques qui ne sont pas toujours disponibles.

Les indices les plus utilisés pour la caractérisation du régime pluviométrique, et qui ont été utilisés dans plusieurs études (Faye et al., 2015 ; Ghenim., 2011), notamment dans le suivi de la sécheresse, sont : l'indice de sécheresse de Palmer (Palmer Drought Index **PDI**), et l'indice pluviométrique standardisé (Standardized Precipitation Index **SPI**). Ces indices sont aussi considérés comme indicateurs de changement ou de tendance dans le régime pluviométrique.

- **Indice de sécheresse de Palmer (Klein., 2009) :**

Le PDSI est un indice de sécheresse météorologique mécaniste élaboré par Wayne Palmer dès 1965 qui est basé sur la construction d'un bilan hydrologique de mois en mois (Palmer, 1965). Le PDSI a été développé pour être standardisé afin qu'il soit utilisé à tous les endroits et toutes les époques. Cependant, certaines études montrent que la

standardisation, en réalité, n'est pas valide. La variation spatiale et temporelle de l'indice de Palmer peut donc être trompeuse et conduire à des conclusions erronées.

Un nouvel indice, appelé l'indice standardisé de précipitations (SPI), a été mis en œuvre pour donner une meilleure représentation de l'humidité et la sécheresse que l'indice de Palmer.

- **Indice pluviométrique standardisé (Taibi., 2011 ; Kelin., 2009) :**

Le SPI, quant à lui, est un indice statistique utilisé pour améliorer la détection de la sécheresse et la capacité de surveillance. Il a été mis au point par l'université du Colorado au début des années 90 (McKee, 1993).

L'Indice Standardisé des Précipitations, ou en anglais (Standardized Precipitation Index) répond à la formule suivante :

$$SPI = (X_i - X_m) / \sigma_i$$

où :

X_i est le cumul de la pluie pour une année i ;

X_m et σ_i , sont respectivement la moyenne et l'écart type des pluies annuelles observées pour une série donnée.

Le SPI a la vocation à indiquer à lui seul si l'année peut être qualifiée d'excédentaire (IPS > 0) ou de déficitaire (IPS < 0). McKee a suggéré une classification du SPI de 2 à -2.

Cet indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (tableau 1.1)

Tableau 1.1. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).

Classes du SPI	Degré de la sécheresse
SPI >2	Humidité extrême
1 < SPI < 2	Humidité forte
0 < SPI < 1	Humidité modérée
-1 < SPI < 0	Sécheresse modérée
-2 < SPI < -1	Sécheresse forte
SPI < -2	Sécheresse extrême

Conclusion

Les tests statistiques ont pour but de déterminer les variations d'une série de données temporelles afin de détecter des changements sur une période donnée. Les tests les plus utilisés pour la détection d'un changement ou d'une rupture sont le plus souvent non paramétriques car ils ne tiennent pas compte de la normalité de la série de données, comme le test de Pettitt et le test de Kendall.

Les indices de sécheresse ont pour but de quantifier la sécheresse météorologique. L'indice pluviométrique standardisé est le plus simple, il ne tient compte que des précipitations et détermine les années (périodes) sèches et humides selon une classification.

CHAPITRE –II–

Présentation de la zone d'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Introduction

Le présent chapitre donne une description générale sur le nord de l'Algérie et ses différents sous bassins étudiés afin de donner les indications géographiques (relief), le climat dominant dans la région, ainsi que les variations des précipitations et de température sur l'ensemble de la région.

II.1. Situation géographique de la zone d'étude:

Le Nord de l'Algérie se trouve limitée par les parallèles 33° et 37°N et par les longitudes 2° Ouest et 10° Est, bordé au nord par la mer Méditerranée, à l'est par la Tunisie, à l'ouest par le Maroc et au sud par l'Atlas saharien (fig.2.1). Sa superficie est d'environ 227 740 Km² et s'étale sur une largeur de 1200 km le long du littoral.

(<http://www.axl.cefan.ulaval.ca/afrique/algérie-1demo.htm>)

Le Nord Algérien renferme les principales ressources en eaux de surface et les infrastructures hydrauliques du pays. La partie Sud de l'Algérie est plutôt alimentée par ses ressources en eaux souterraines principalement de la nappe albiennne.



Figure 2.1. Situation géographique de la zone d'étude (Google Maps, 2018)

II.2. Le relief :

Ce terme est souvent employé pour caractériser la forme de la lithosphère terrestre .

Le territoire algérien est subdivisé en deux grandes zones géographiques distinctes (figure 2.2). La première est constituée par une bande large de 200 à 300 km du nord au sud et qui

s'étend sur 1 200 km de littoral. La seconde zone, située au sud de cette bande, concerne l'immense Algérie saharienne (plus de 2 millions de km²). Du point de vue orographique, l'Algérie septentrionale correspond au prolongement de l'Atlas marocain (Moyen et Haut Atlas). Elle se présente sous la forme de deux chaînes parallèles: l'Atlas tellien (ou Tell), orienté est-ouest et l'Atlas saharien, orienté nord-est, sud-ouest (M. Touazi 2010). Les deux Atlas tendent à se confondre dans l'Est de l'Algérie, où l'on retrouve les vastes chaînes montagneuses des Aurès (Batna, Khenchela, Oum-El-Bouaghi, Aïn M'lila, Souk-Ahras, Guelma, Biskra, etc.) et de la Nememcha (Tébessa) qui occupent une surface de 50 000 km². Le point culminant est le mont Chélia à 2 328 mètres d'altitude (https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_l%27Alg%C3%A9rie).

- **Le Tell :**

De la frontière marocaine à Alger, l'Atlas Tellien s'étend sur le long de la côte méditerranéenne (1200 km), ne constitue pas une chaîne de montagnes continue. Il est découpé au voisinage de la mer par une série de plaines: Plaines d'Oran, du Sig et du Chélif en Oranie, plaine de la Mitidja autour d'Alger. Entre ces plaines, se dressent les petites hauteurs du Sahel oranais et algérien, qui tombent à pic dans la mer et forment une côte abrupte et rocheuse : les baies (Oran, Arzew, Alger) sont rares et peu abritées. Au Sud de ces collines du Sahel, se trouvent des petits massifs montagneux, plus élevés : Monts du Tessala, de Tlemcen. Le massif de l'Ouarsenis, qui atteint près de 2.000 mètres, est le plus important. Entre ces massifs s'étendent des plaines intérieures Plaines de Tlemcen, de Sidi-Bel-Abbès, de Mascara, de Médéa. D'Alger à la frontière tunisienne, l'Atlas Tellien devient plus élevé et plus massif. Les plaines sont rares la plus vaste est celle de Bône (Prigent, 2007).

Dans cette région, les montagnes les plus importantes sont celles de la Kabylie. Elles comprennent : Le long de la côte, la Grande Kabylie ou Djurjura. C'est là que se trouve le plus haut sommet de tout l'Atlas Tellien (Lalla Khadidja 2 308 m). Au Sud-Est de la vallée de la Soumam, la chaîne de la Petite Kabylie prolongée par la chaîne des Babors. L'Atlas Tellien se continue, au voisinage de la Tunisie, par les Monts de Constantine. A travers ces montagnes, la circulation est facile grâce aux vallées transversales qui les découpent et qui permettent de passer de la côte aux hautes plaines (Penalba, 2007).

- **Les hauts plateaux :**

Ils sont répartis entre l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud. Ils sont très larges à Oran, où les deux Atlas s'écartent beaucoup l'un de l'autre. Ils forment d'immenses étendues plates et monotones. Des « chotts » salés (chott ech-Chergui, chott el-Hodna) y occupent de vastes espaces. Dans le Constantinois, les hautes plaines sont plus élevées (600 à 800 mètres) et rétrécies par le rapprochement des deux chaînes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien (Ministère de l'Aménagement du Territoire Et de l'Environnement, 2014).



Figure 2.2. Principaux reliefs d'Algérie (source: www.google.com/search?q=relief+algérie)

II.3. Le climat :

Les montagnes de l'Atlas Tellien et de l'Atlas Saharien divisent la zone d'étude en bandes orientées Est-Ouest : celle de la côte et de l'Atlas Tellien et celle des Hautes Plaines et de l'Atlas Saharien. Chacune de ces bandes a un climat particulier, caractérisé surtout par la température et la quantité de pluie mensuelle. (Penalba., 2007)

- ✓ **Climat méditerranéen :** sur la côte et dans l'Atlas Tellien : les gelées sont très rares en hiver et les étés sont chauds. Les vents humides venant de la mer apportent des pluies, de l'automne au printemps. Ces pluies sont plus abondantes à l'Ouest qu'à l'Est : la Kabylie, assez élevée, peu découpée, retient mieux l'humidité. Cependant l'influence du désert se fait sentir jusque sur la côte par l'action du « **sirocco** », vent sec et chaud, soufflant du Sud au Nord. Ce vent chargé de sable élève la température et dessèche la végétation. (Prigent., 2007)

- ✓ **Climat continental** : sur les Hautes Plaines et dans l'Atlas Saharien. La température descend souvent au-dessous de 0 degré en hiver. En été elle dépasse 30 et même 40 degrés. Les pluies sont rares, surtout sur les Hautes Plaines d'Oranie moins élevées et moins accidentées que celles du Constantinois. Les vents humides sont, en effet, arrêtés, à l'Ouest, par les hauteurs de l'Atlas Tellien. (Prigent., 2007)
- **Les précipitations** :

-Les régimes de pluies sont très irréguliers d'une région à l'autre, notamment entre le Nord et les hauts plateaux et entre l'Est et l'Ouest de la zone d'étude. Les précipitations en Algérie augmentent d'Ouest en Est et diminuent du Nord au Sud (2.3).

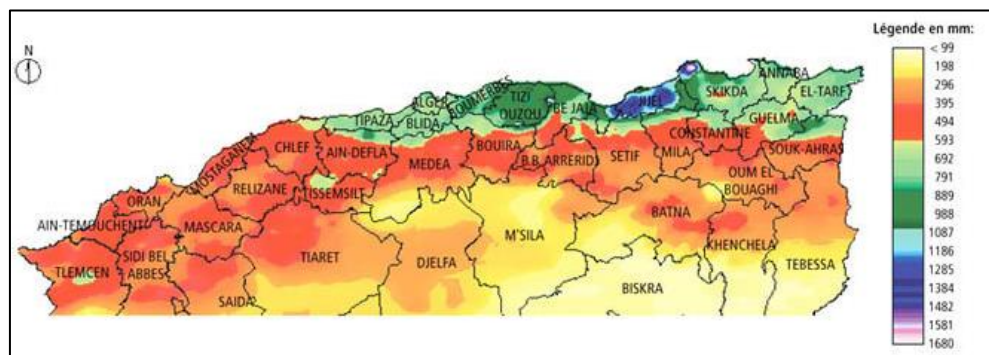


Figure 2.3. Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie
(source: Madani, 2007)

Au Tell, cette zone est la plus humide d'Algérie, elle est caractérisée par des précipitations annuelles qui varient entre 400 mm et 1 000 mm ;

Les précipitations annuelles enregistrées dans les hauts Plateaux et dans l'Atlas saharien ne dépassent pas la quantité 200 à 400 mm de pluie.

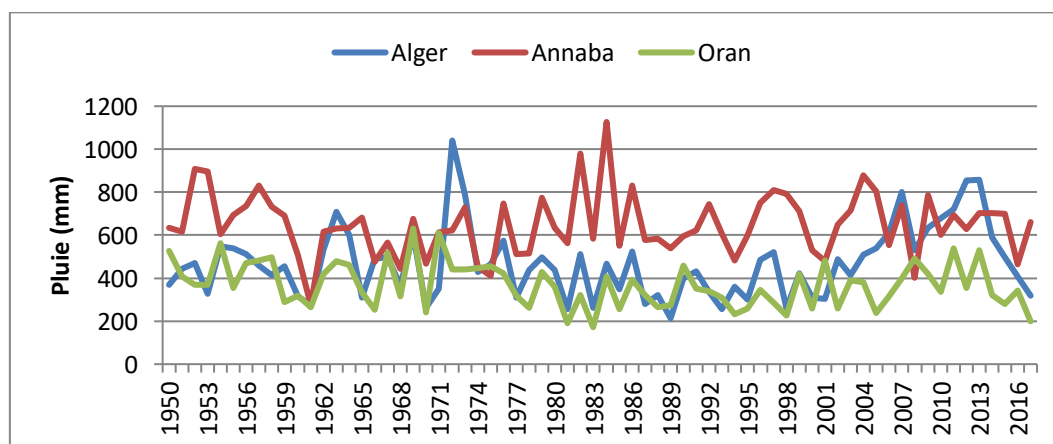


Figure 2.4. Répartition des précipitations annuelles d'Est en Ouest (ONM, 2017)

L'irrégularité des pluies est bien observée. L'évolution annuelle des précipitations (figure 2.4) montre que les stations côtières Alger, Annaba et Oran présentent des variations descendantes d'Est en Ouest avec des moyennes annuelles de 648 mm à Annaba, 468,2 mm à Alger et de 369,1 mm à Oran.

Quelles sont alors les caractéristiques géographiques qui influencent la variabilité des précipitations au Nord de l'Algérie ?

L'influence du relief, les chaînes de montagnes perpendiculaires aux vents dominants et d'altitude élevées perturbent les circulations atmosphériques, elles obligent la masse d'air à s'élever ce qui engendre de très fortes variations spatiales de climat, et en particulier de taux de précipitations.

L'orientation des versants montagneux, le climat est humide du côté exposé aux vents, du fait de cet effet de barrière, un climat aride prévaut du côté sous le vent, en raison de l'assèchement des masses d'air après qu'elles aient franchi la crête de la montagne. (CNRS., 2009).

- **Les températures :**

Le Nord (les villes côtières) bénéficie d'un climat méditerranéen. En hiver, les températures moyennes mensuelles varient entre 8 °C et 15 °C. Elles grimpent à 25 °C au mois de mai pour atteindre une moyenne de 28 °C à 30 °C en juillet et août (28 °C à Skikda, 29,5 °C à Alger). Toujours au Nord, dans les montagnes de Kabylie, la température avoisine les 3 °C voire -7 °C en hiver. La neige y est fréquente en hiver.

Dans les hauts plateaux de la région de Djelfa, la température estivale varie de 30 °C à 38 °C. Le contraste entre l'hiver et l'été s'accroît fortement en s'éloignant de la mer. L'influence de la mer, comme facteur atténuant en hiver et rafraîchissant en été, est assez marquée dans les régions du littoral. Lorsque le sirocco souffle, les températures peuvent atteindre jusqu'à 40 °C.

A l'est, la région des Aurès, les hivers sont très froids, la température atteint parfois les -18 °C sous abri. Les étés sont très chauds. Le thermomètre affiche parfois 50 °C à l'ombre. Les variations de température sont très importantes dans cette région du monde. La température estivale varie de 30 °C à 38 °C. (Touazi, 2001 ; Benyettou, 2017)

Le tableau ci-dessous montre en ce qui concerne les températures que le contraste est bien marqué entre l'hiver et l'été. Les moyennes mensuelles minimales sont atteintes au mois de

janvier ou février (inférieures à 6 °C), alors que les moyennes mensuelles maximales sont atteintes en juillet ou août (supérieures à 27°C).

Tableau 2.1. Températures de l'air moyennes mensuelles et annuelles dans quelques régions du nord de l'Algérie. (1981-2017)

Station	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuelle
Littoral Alger	11,1	11,5	13,3	15,4	18,6	22,5	25,6	26,3	23,8	20,4	15,5	12,4	18
Atlas tellien Mascara	8,8	9,8	12,2	14,6	18,6	23,4	27	27,1	23,1	18,8	13,3	10	17,2
Hauts plateaux Sétif	5,4	6,2	9	12,2	17	22,5	26,4	25,9	21	16,1	10	6,4	14,8

II.4. Répartition des ressources en eau au nord de l'Algérie :

Les potentialités totales en eau en Nord de l'Algérie sont estimées à 19.1 milliards de m³, dont 80% est renouvelable (c'est à dire 70% eau de surface 12 milliards de m³, et 10% eau souterraine plus de 2 milliards de m³) (ANRH, 2009).

L'Algérie est répartie en 5 régions hydrographiques (voir fig. 2.5), dont 4 se situent dans la partie nord du pays, la 5^{ème} présente le grand Sahara du sud Algérien.

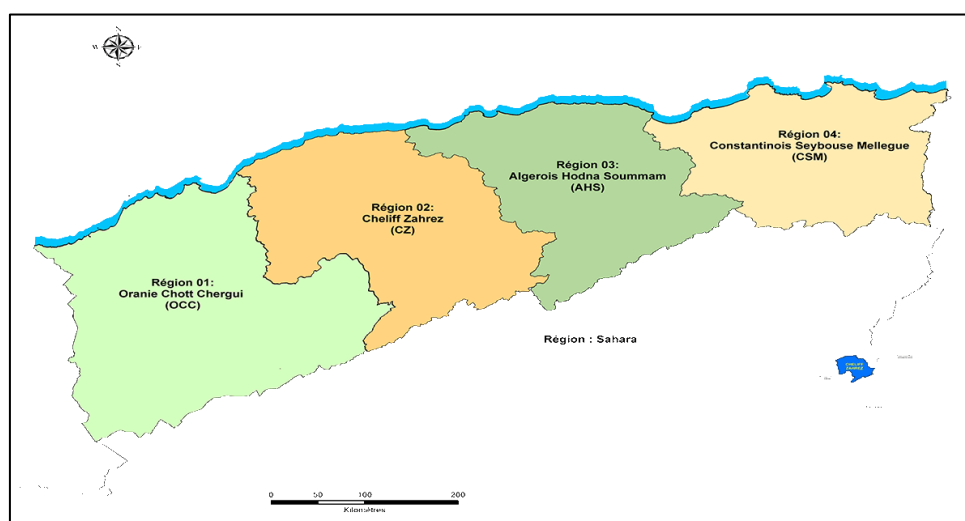


Figure 2.5. Découpage de l'Algérie du nord en quatre régions hydrographiques (www.google.com/search?q=région+hydrographique+algérie)

a. Région hydrographique Oranie- Chott Chergui (OCC):

Cette région est subdivisée en 02 grands ensembles (Oranie et Chott Chergui) contenant 04 Bassins versants Hydrographiques. Elle couvre une superficie d'environ 77 196 km², soit le tiers de l'Algérie du Nord. Elle se localise à l'Ouest de l'Algérie et est limitée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par la région Chélif Zahrez, à l'Ouest par le Maroc et au Sud par le bassin du Sahara (ABH OCC., 2017).

b. Bassin hydrographique Cheliff-Zahrez (CZ):

Située au centre Ouest de l'Algérie du Nord, la région hydrographique Cheliff-Zahrez s'étend, avec une superficie de plus de 56.000 Km², subdivisée en 02 grands ensembles (Cheliff et Zahrez) contenant 3 Bassins versants Hydrographiques.

Ce bassin est drainé par l'oued Cheliff qui le traverse sur une longueur de 750km avant qu'il ne se déverse dans la méditerranée à proximité de Mostaganem (ABH CZ, 2017).

c. Bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soumam (AHS) :

Le bassin hydrographique Algérois-Hodna-Soumam s'étale sur une superficie de 47 588 Km². Il se situe dans la partie centrale de l'Algérie du Nord, il est limité au Nord par la mer Méditerranée, à l'Ouest par le bassin Chellif-Zahrez, à l'Est par le bassin Constantinois-Seybouse-Mellègue et enfin au Sud par le bassin du Sahara (ABH AHS, 2017).

d. Bassin hydrographique Constantinois-Seybouse-Mellegue (CSM):

La région hydrographique CSM s'étend sur une superficie de 44,348 km² et regroupe 5 cinq bassins versants. La région est limitée au Nord par la Méditerranée, à l'Est par la Tunisie, au Sud par le Bassin Hydrographique du Sahara et à l'Ouest par le Bassin Hydrographique de l'Algérois-Hodna-Soumam (ABH CSM, 2017).

II.4.1. Les eaux superficielles :

a. Barrages en exploitation :

Avec une démographie galopante et une demande en eau croissante, le fait qui a amené le gouvernement à mobiliser de plus en plus les ressources superficielles. Pour ce faire, le pays a mis en œuvre la construction de nouveaux barrages qui sont 63 barrages actuellement avec une capacité de 7,4 milliards de m³. Le nombre de barrages et leurs capacités initiales sont présentés dans le tableau (2.2).

Tableau 2.2. Nombre de barrages et la capacité initiale (ABH., 2017)

Région hydrographique	Nombre de barrages	Capacité initiales (Hm ³)
Cheliff-Zahrez	18	2320
Algérois-Hodna-Soumam	14	1693,07
Constantinois-Seybouse-Mellegue	20	1700
Oranie-Chott-Chergui	11	601,06

II.4.2. Les retenues collinaires :

Le manque de sites favorables à la réalisation de grands barrages a mené à réaliser des retenues collinaires. Ce sont des petits barrages de faible profondeur construits avec des digues en terres qui permettent une gestion locale de ce mode de stockage (Remini., 2010). L'Algérie dispose actuellement de plus de 61 petits barrages répartis sur l'ensemble de l'Algérie du nord, comme le montre le tableau.

Tableau 2.3. Répartition des petits barrages dans l'Algérie du nord (source: Remini., 2010)

Bassin hydrographique	Nombre	Capacité
Oranie Chott Chergui	16	30
Chellif Zahrez	6	3
Algerois Soummam HODna	28	34
Constantinois Seybouse Mellegue	11	14

II.4.3. Les eaux souterraines :

En l'état actuel des connaissances, les eaux souterraines sont globalement évaluées à environ 2,5 milliards de m³ (Ministère des Ressources en eau, 2012) (figure 2.6). Elles sont exploitées à plus de 90%, soit 1,9 milliards de m³ et beaucoup de nappes se trouvent actuellement en état de surexploitation (ANRH, 2009). Le tableau 2.4 donne les estimations des ressources en eau souterraines de l'Algérie du Nord.

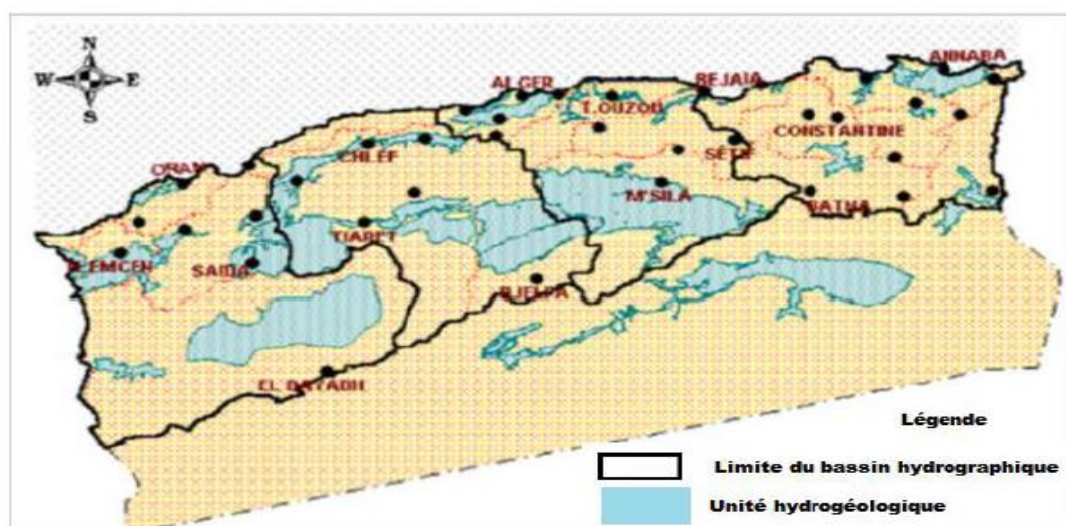


Figure 2.6. Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord (El-Meddahi, 2010)

Tableau 2.4. Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du Nord (source : ABH, 2017)

Région Hydrographiques	Cheliff- Zahrez	Algérois- Hodna- Soummam	Constantinois- Seybouse-Mellegue	Oranie- Chott- Chergui
Ressources Souterraines mobilisées (Hm ³ /an)	534	1 034.7	776	320,77

Conclusion :

La zone d'étude est située dans le nord de l'Algérie, elle est subdivisée en 4 régions hydrographiques. Elle est caractérisée par le relief qui comprend deux grandes chaînes montagneuses, l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien, qui forment les frontières naturelles entre les trois principales régions d'Algérie (Le Tell, les hauts plateaux et le Sahara), et deux types de climat: méditerranéen dans la cote et l'Atlas tellien, avec des hivers doux et pluvieux et des étés chauds et ensoleillés, et continentale dans les hautes plaines, avec des étés chauds et secs et des hivers humides et frais.

Les précipitations sont plus faibles dans la partie occidentale, tandis qu'elles deviennent plus abondantes dans le centre et l'est. Les températures varient du littoral vers les hauts plateaux, les minima sont enregistrés en janvier et les maxima en juillet.

CHAPITRE –III–

Matériels et méthodes

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction

Ce chapitre présente les stations utilisées dans le cadre de ce travail à savoir les données de pluie et de température ainsi que leur période de fonctionnement. Les outils et les méthodes utilisés sont aussi exposés ; il s'agit des tests statistiques qui permettent d'analyser la variabilité temporelle des séries de données et de la méthode de seuillage pour l'analyse des pluies extrêmes.

III.1. Matériels :

Pour les besoins de notre étude, nous disposons des données mensuelles de pluies et de températures de huit stations météorologiques collectées au sein de l'ONM au cours de la période 1950-2017 (Tableau 3.1).

Pour l'analyse des pluies extrêmes nous disposons uniquement de quatre séries pluviométriques journalières à savoir : Oran, Alger, Constantine, Annaba qui s'étale aussi sur la période 1950-2017. Les données couvrent les variables suivantes: la température minimale et maximale et les précipitations journalières.

La qualité des données et la longueur des séries pluviométriques restent les critères sur lesquelles repose le choix des stations. La période de fonctionnement diffère d'un poste à l'autre, tout dépend le nombre suffisant de données climatiques qui permettraient d'analyser des tendances avec un maximum de fiabilité. Le choix des 8 stations se veut aussi de respecter la variabilité spatiale des précipitations entre l'Est, l'Ouest, le Nord et le Sud de la zone d'étude (figure 3.1).

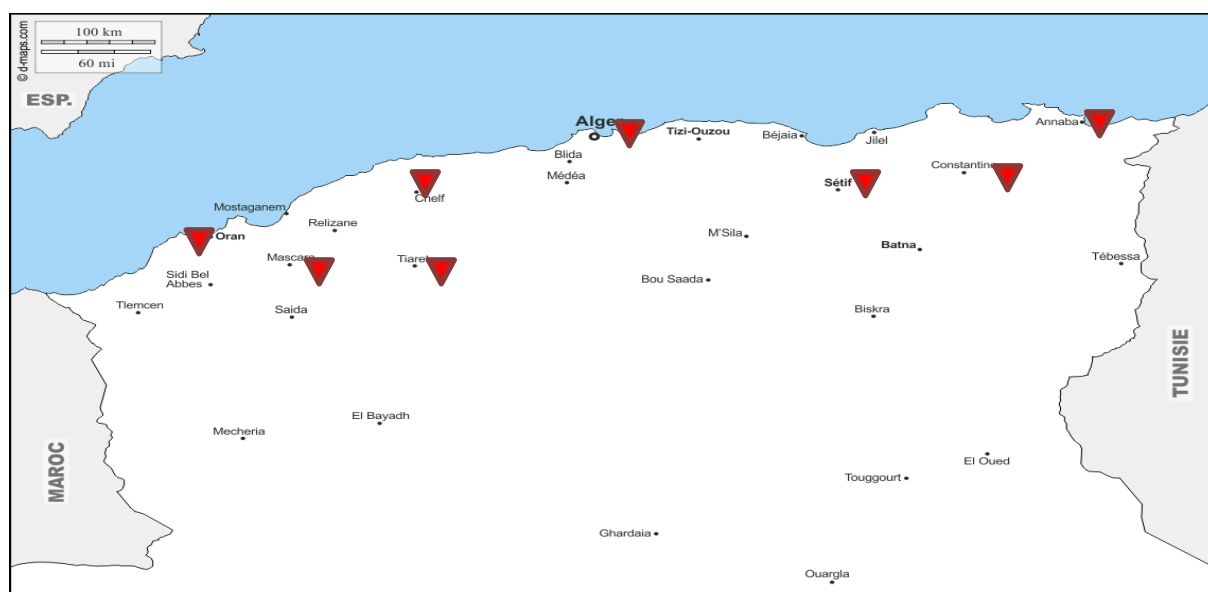


Figure 3.1. Situation géographique des neuf stations météorologiques (source : ONM)
(▼ station)

Tableau 3.1. Caractéristiques géographiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.

Stations	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'étude (pluie)	Période d'étude (°C) Moyenne min et max
Alger	003-15E	36-43N	25	1950-2017	1950-2017
Annaba	007-49E	36-50N	4	1950-2017	1950-2017
Tiaret	001-28-00E	35-21-00N	978	1950-2017	1983-2017
Chleff	001-20E	36-13N	143	1950-2017	1950-2017
Oran	000-36W	35-38N	90	1950-2017	1950-2017
Sétif	005-19-00E	36-10-00N	1015	1950-2017	1981-2017
Constantine	006-37E	36-17N	694	1950-2017	1950-2017
Mascara	000-09-00E	35-21-00N	513	1950-2017	1977-2017

III.2. Méthodes :

III.2.1. Tests statistiques

Une série chronologique est dite stationnaire si ses propriétés sont invariables dans le temps. La littérature hydrologique s'intéresse plus particulièrement à deux formes majeures de non stationnarité; les tendances et les ruptures (Belarbi, 2010).

- **une rupture** désigne une modification subite dans les propriétés d'un processus aléatoire.
- **Une tendance** est un changement graduel dans les propriétés d'une variable aléatoire.

La stationnarité est donc l'étude de changement des éléments climatiques d'une série chronologique.

III.2.1.1. Test de tendance de Mann-Kendall et la pente de sen

Le test de Mann-Kendall, proposé par Mann (1945) et Kendall (1975), est non paramétrique et permet a priori de détecter des tendances non nécessairement linéaires (Dion, 2009). Ce test non paramétrique, basé sur le rang, permet de déterminer si la corrélation entre le temps et la variable d'étude est significative ou pas. Soit (x_1, \dots, x_n) un échantillon de valeurs indépendantes relative à une variable aléatoire X dont on cherche à évaluer la stationnarité (Cheikh 2015). L'hypothèse nulle H_0 est l'hypothèse de stationnarité de la série (absence de tendance). L'hypothèse alternative H_1 correspond au non stationnarité de la série. La statistique de Mann-Kendall S est définie comme suit:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sign}(X_k - X_i)$$

$$\text{sign}(X_k - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{si } (X_k - X_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (X_k - X_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (X_k - X_i) < 0 \end{cases}$$

Où X_k et X_i 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_k, X_i) $k < i$, 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.

Lorsque l'hypothèse d'aucune tendance est rejetée par le test de Mann-Kendall, la pente de Sen (Sen, 1968) est appliquée pour déterminer l'ampleur du changement (Faye., 2015).

III.2.1.2. Test de Pettitt:

Le test de Pettitt repose sur le test de Mann-Whitney (Ceresta, 1986). La série étudiée est divisée en deux sous-échantillons respectivement de taille m et n . Les valeurs des deux échantillons sont regroupées et classées par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous-échantillon dans l'échantillon total. Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous-échantillons à la même population.

La formulation du test de Mann-Whitney modifiée par Pettitt (Pettitt, 1979) est la suivante :

L'hypothèse nulle du test est l'absence de rupture dans la série. La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t variant de 1 à N , les séries (X_i) , $i=1, t$ et (X_i) , $i= t+1, N$ appartiennent à la même population.

$$\text{Soit : } D_{ij} = \text{sign}(X_i - X_j) \text{ avec } \text{sign}(X) = \begin{cases} +1 & \text{si } X > 0 \\ 0 & \text{si } X = 0 \\ -1 & \text{si } X < 0 \end{cases}$$

On considère la variable $U_{t,N}$ telle que :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Pour tester H_0 contre H_1 Pettitt propose d'utiliser la variable :

$$K_n = \max |U_{t,n}|$$

On calcule ensuite p probabilité de dépassement de la valeur k :

$$\text{Prob}(K_N > k) \approx 2 \exp(-6k^2 / (N^3 + N^2))$$

Pour un risque α de premier espèce donné, si $\text{Prob}(K_N > k)$ est inférieur à α , l'hypothèse nulle est rejetée.

Si p est inférieur à α , l'hypothèse H_0 de stationnarité (non-rupture) est rejetée au seuil α . Dans ce cas, la série présente une rupture au temps $t=\tau$ définissant K_n .

Ce test est plus particulièrement sensible à un changement de moyenne. Il permet ainsi de détecter la date de la rupture.

III.2.3. Indice pluviométrique standardisé:

Pour l'étude de la variabilité spatio-temporelle de la sécheresse, nous avons choisi la méthode de l'indice standardisé de précipitation (Standardised Precipitation Index ou SPI) en vue de caractériser les déficits de précipitations pour une période donnée (BenBoubaker, 2006). Il est calculé selon la formule suivante :

$$SPI = (P_i - P_m) / \sigma$$

Avec

P_i = Précipitations de l'année i à une échelle de temps donnée (1 mois, 3 mois, 6 mois ou 12 mois),

P_m = Précipitation moyenne d'une longue série de données

σ = Ecart type.

Cet indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (tableau 3.2) (McKee., 1993).

Tableau 3.2. Classification de la sécheresse en rapport avec la valeur de l'Indice Standardisé des Précipitations (SPI).

Classes du SPI	Degré de la sécheresse
$SPI > 2$	Humidité extrême
$1 < SPI < 2$	Humidité forte
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 0$	Sécheresse modérée
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse forte
$SPI < -2$	Sécheresse extrême

III.2.4. Méthode de seuillage:

Pour l'étude des pluies extrêmes, nous avons appliqué la méthode du seuillage qui consiste à déterminer le nombre d'évènements pluvieux supérieurs à un seuil de pluie donné (mm). L'approche par valeurs supérieures à un seuil est particulièrement efficace pour extraire des informations concernant les véritables événements extrêmes (Acero et al. 2011).

L'Office Mondial de Météorologie a défini des seuils comme suit (TT-DEWCE, OMM, 2016):

-Pluie légère: 5 - 20 mm/j ;

-Pluie modérée: 20 - 50 mm/j ;

-Pluie forte: 50 - 100 mm/j ;

-Pluie très forte: >100 mm/j.

Les indices de pluies utilisés dans le cadre notre travail reposent sur les seuils suivants :

- $P \geq 5$ mm
- $P \geq 10$ mm
- $P \geq 50$ mm
- $P \geq 100$ mm.

Il s'agit donc d'analyser la variabilité temporelle de chaque indice de pluies.

Conclusion :

Les tests statistiques sont utilisés pour la détection d'une rupture au sein des séries de données (pluie et température).L'indice pluviométrique va déterminer les années ou périodes sèches et humides ainsi que leur degré de sévérité et la méthode de seuillage va caractériser la variabilité spatio-temporelle des précipitations extrêmes sur tout le Nord Algérien durant la période 1950-2017.

CHAPITRE –IV–

Résultats et interprétation

Chapitre IV : Résultats et Interprétation

Introduction

Ce chapitre met en évidence les tendances et les ruptures observées dans les séries de données météorologiques moyennes et extrêmes, par l'utilisation de tests statistiques choisis sur la base d'une revue bibliographique. Les tests sélectionnés sont ; le test Mann-Kendall (MK) qui permet d'analyser une tendance au sein d'une au quel est associé la pente linéaire de Sen qui permet d'estimer l'ampleur des tendances ; le test de Pettitt pour la détection d'un changement de la moyenne ainsi que la date de la rupture. Pour l'analyse des sécheresses, nous avons utilisé l'indice pluviométrique standardisé (SPI).

Les séries de données dont nous disposons sont quasi-complètes et ne présentent pas beaucoup de lacunes, à cet effet les données manquantes ont été reconstituées en faisant la moyenne des cinq années avant et après la donnée manquante afin de les homogénéiser au mieux et de faciliter ensuite la détection de tendances.

IV.1. variabilité des pluies moyennes du nord de l'Algérie

IV.1.1. Description des données

Les graphes ci-dessous (fig. 4.1) montrent l'évolution des pluies au cours de la période d'étude. La courbe de tendance montre que les stations d'Alger et de Sétif présentent des tendances vers l'augmentation, tandis qu'une tendance à la baisse est enregistrée dans les stations d'Oran, Tiaret et Constantine bien qu'elle est légère à Mascara. Les stations d'Annaba et Chleff montrent un caractère stable pour toute la période étudiée.

La moyenne mobile calculée sur 10 ans met en évidence différentes tendances. A la station d'Alger, on observe que les décennies 60, 70 et 2000 sont excédentaires alors que les décennies 80 et 90 sont déficitaires. Par contre la station d'Annaba a connu une décennie plus ou moins excédentaire par rapport à la décennie 70. La station d'Oran montre que les années 80 et 90 sont déficitaires alors que les années 70 et 2000 sont excédentaires. A Chélif aussi, les décennies 80 et 90 sont déficitaires tandis que les années 2000 sont excédentaires cela coïncide avec les résultats trouvés par (El-Meddahi, 2016) au niveau du bassin du Chélif. Pour les stations de Tiaret et Mascara des périodes déficitaires sont enregistrées pour 80 et 90 tandis que les décennies 60, 70 et 2000 sont excédentaires.

Une stabilité du régime pluviométrique est observée sur les hauts plateaux est au niveau des stations de Sétif et Constantine.

Toutefois afin de confirmer ces observations, nous avons appliqué les tests statistiques de Mann-Kendall et Pettitt.

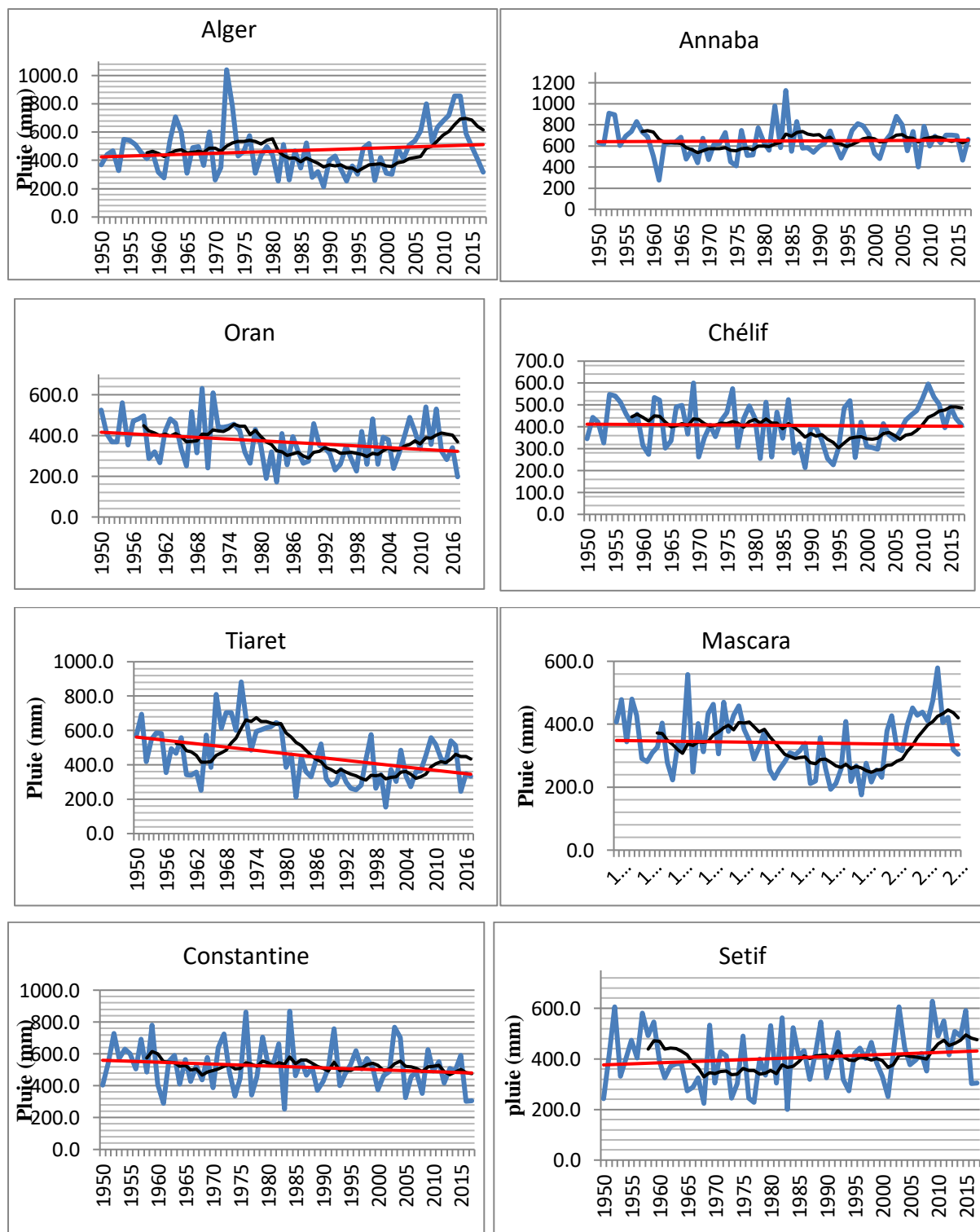


Figure 4.1. Evolution des précipitations avec leur moyenne mobile (— moyenne mobile 9ans ; — courbe de tendance ; — précipitations)

IV.1.2. Analyse de la variabilité temporelle des précipitations et détection de rupture

La stationnarité des séries pluviométriques est déterminée à un niveau de confiance de 95%.

Comme le traduit le tableau 4.1 les stations représentatives de la région Ouest montrent une tendance à la baisse à partir des années 70. Une baisse de -20% et -33% est enregistrée respectivement à Oran et Tiaret, tandis que les stations d'Alger et Mascara enregistrent respectivement une hausse à partir de 2002 de l'ordre de 41% et 25%. Taibi (2010) et El-Meddahi (2016) ont trouvé respectivement sur les périodes 1936-2010 et 1927-2005, que la station de Mascara a montré une tendance à la baisse, et du fait des fortes pluies des dernières années cette station enregistre une tendance à l'augmentation depuis 2002 (tableau 4.1). L'utilisation d'un autre test tel que la segmentation d'Hubert permet de déceler différentes périodes de rupture.

Tableau 4.1. Tendance des tests de rupture à l'échelle annuelle

Stations	Pettitt	Man-Kendall	Moy-avant	Moy-après	Différence
Alger	2003	-	431,4	610,1	41%
Annaba	-	-	-	-	-
Chélif	-	-	-	-	-
Oran	1976	rupture	421,2	334,9	-20%
Sétif	-	-	-	-	-
Constantine	-	-	-	-	-
Tiaret	1979	rupture	557,3	371,7	-33%
Mascara	2002	-	323,2	405,3	25%

La variabilité spatiale des précipitations moyennes interannuelles dans la région d'étude montre des valeurs décroissantes du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest, les stations du nord-Ouest ont montré un caractère déficitaire de la pluviométrie annuelle. Selon l'étude réalisée à l'échelle régionale par Meddi (2013) dans le Nord-Ouest de l'Algérie, les précipitations annuelles présentent une tendance générale à la baisse ce qui est cohérent avec les résultats obtenus dans la présente étude.

A l'échelle mensuelle (tableau 4.2) la valeur de la pente Sen de test de Mann-Kendall au seuil de signification 5% reflète l'amplitude de cette tendance. La diminution de la pente de la pluviométrie annuelle varie 0,33 mm /décade à la station d'Alger, de -0,55 mm /décade à 5,01 mm/décade à la station d'Oran, de 1,38 mm/décade à la station de Mascara et -6,78 mm/décade à 1,8 mm/décade à la station de Tiaret.

Les stations de Constantine, Sétif, Annaba et Chélif ne montrent aucune tendance significative.

Tableau 4.2. Tendence des pluies mensuelles selon le test de Mann-Kendall (- : absence de tendance)

Mois	Jan.	Fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Ao.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alger	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-	-
Oran	-	-	-	-	-	-0,55	-	0,07	-	-	5,01	-
Constantine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sétif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mascara	-	-	-	-	-	-	-	0	1,38	-	-	-
Tiaret	-	-	-	-6,72	-4,67	-4,96	-2	-	1,8	-	-	-
Annaba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chélif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Pour le test de Pettitt (tableau 4.3), seul le mois de juin qui montre une baisse des pluies de 58% en 1977 à la station d'Alger. A Oran, ce sont les mois de juin et décembre qui enregistrent respectivement une diminution de -70% et -43% en 1974 et 1983, alors que le mois de novembre est marqué par une hausse de 70% à partir de 1997. Une augmentation des précipitations est enregistrée à la station de Mascara d'environ 97% au mois de septembre en 1984 et de 67% en novembre à partir de 1998, tandis que l'année 1973 enregistre une baisse des pluies de 43% en mois de décembre. La station de Tiaret est marqué par une diminution des précipitations entre le début des années 80 et le début des années 90 qui oscillent entre -34% et -67% cette diminution est observée en mois d'avril, mai, juin, juillet, novembre et décembre, par contre une hausse est enregistré en mois d'aout d'environ 87% en 1986. Une baisse de -65% est enregistrée à la station de Chélif en 1992. Tandis que, les stations de Constantine, Sétif et Annaba ne montrent aucune diminution des précipitations.

Tableau 4.3. Résultats des tests de rupture à l'échelle mensuelle

Mois	Jan.	fév.	Mars.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alger												
Date de rupture	-	-	-	-	-	1977	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-58%	-	-	-	-	-	-
Oran												
Date de rupture	-	-	-	-	-	1974	-	-	-	-	1997	1983
Différence°C	-	-	-	-	-	-70%	-	-	-	-	70%	-43%
Constantine												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sétif												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mascara												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	-	1987	1984	-	1998	1973
Différence°C	-	-	-	-	-	-	-	195%	97%	-	67%	-43%
Tiaret												
Date de rupture	-	-	-	1986	1981	1993	1992	1986	1988	-	1979	1988
Différence°C	-	-	-	-54%	-49%	-54%	-67%	87%	401%	-	-53%	-34%
Annaba												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chélif												
Date de rupture	-	-	-	-	-	1992	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-65%	-	-	-	-	-	-

IV.1.3. Analyse de l'évolution de la sécheresse par le SPI

L'indice pluviométrique standardisé permet de classer les années sèches et humides.

Nous avons calculé le SPI annuel et saisonnier pour toutes les séries de données de la zone d'étude. Le SPI correspond à la différence entre la pluie de l'année et la pluie interannuelle par rapport à l'écart-type.

L'interprétation des graphes (figure 4.2) repose sur la classification du SPI. Un tableau récapitulatif du nombre d'années de chaque type de sécheresse est établi pour les différentes stations (tableau 4.4).

Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie et les valeurs positives montrent une situation humide.

Tableau 4.4. Nombre d'années correspondant à chaque classe du SPI pour chaque station durant la période 1950-2017.

SPI	≥ 2	1,5- 1,99	1- 1,49	(-) 0,99- 0,99	(-) 1- (-) 1,49	(-) 1,50- (-) 1,99	$\leq (-) 2$
État de la sécheresse	Extrêmement humide	Très humide	Modérément humide	Près de la normale	Modérément sèche	Très sèche	Extrêmement-sèche
Alger	4	2	3	49	8	1	0
Annaba	2	3	4	48	7	2	0
Oran	2	3	6	41	11	3	0
Chélif	0	3	10	41	9	5	0
Tiaret	2	3	6	45	10	2	0
Mascara	2	2	6	46	9	2	0
Constantine	2	4	4	47	6	4	0
Sétif	1	5	6	46	4	4	0

Le tableau ci-dessus indique que le nombre d'années près de la normale ($-1 < \text{SPI} < 1$) est en moyenne de 45 ans (+/- 4) soit 68,5% de la période d'étude (68 ans). Les années humides ($\text{SPI} \geq 1$) représentent en moyenne 11 ans (+/- 2) soit 16,4%, et les années sèches ($\text{SPI} \leq -1$) 12 ans (+/- 2) soit 15,1%.

Ce n'est que la répartition chronologique des années humides, normales et sèches, qui détermine, en effet, le régime pluviométrique de chaque station et de chaque région.

A l'ouest de la zone d'étude, la station d'Oran, ne connaît pas d'années extrêmement sèches, la plupart des années sèches apparaissent à partir la moitié des années 70, les années très sèche sont enregistrées en 1981, 1983 et 2017 ($-1,5 > \text{SPI} < -2$). Les années humides se trouvent avant cette date. On relève deux années extrêmement humides ($\text{SPI} > 2$), en 1969 et 1971. Un retour vers l'état normal est observé de 2006 à 2013 ($\text{SPI} > 1$), puis une tendance vers les conditions sèches est marquée à partir de 2014.

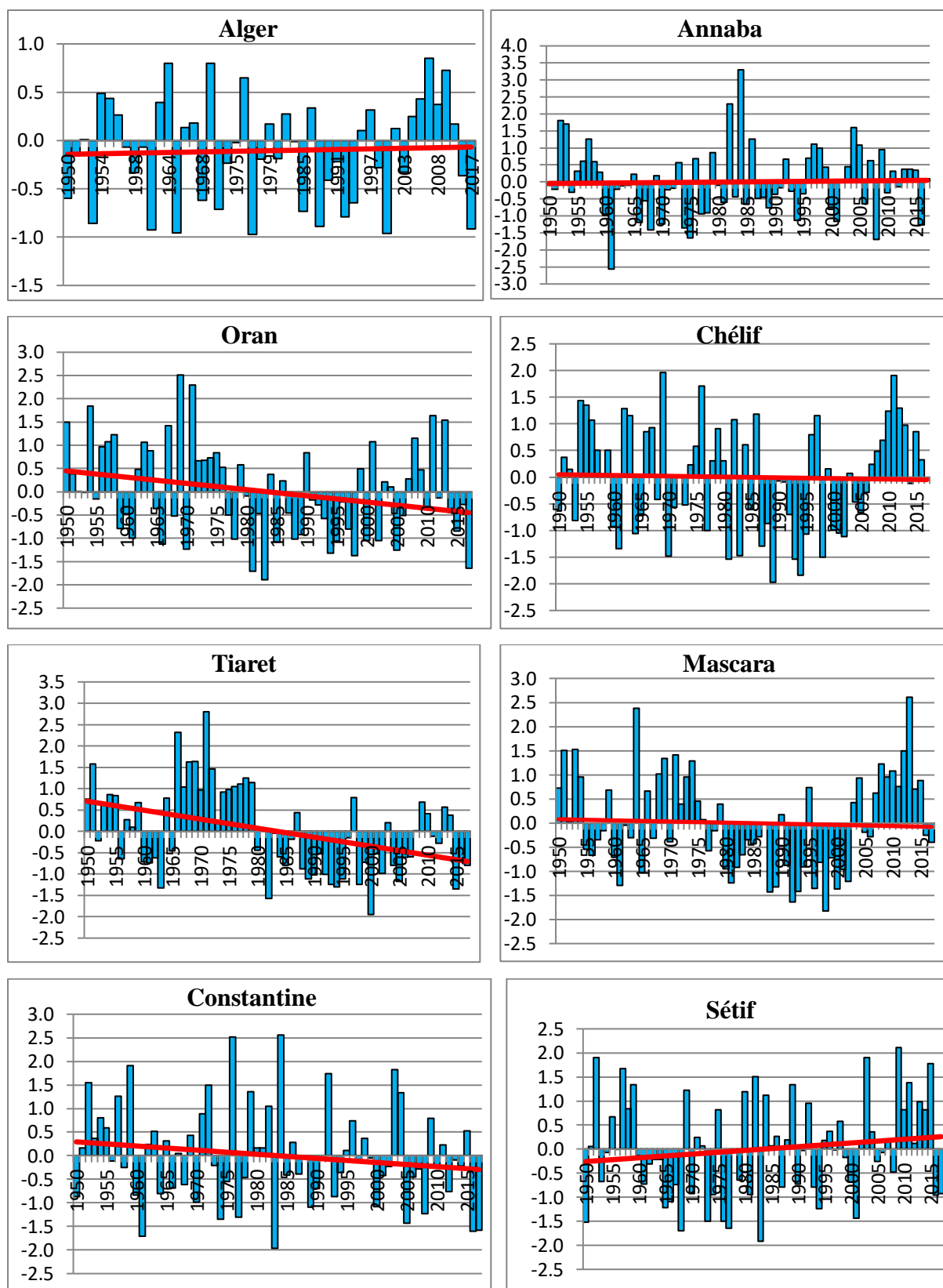


Figure 4.2. Evolution de l'Indice Standardisé des Précipitations de huit stations pluviométriques sur la période 1950-2017 (courbe de tendance —).

La station de Mascara, indique une baisse continue des précipitations à partir de 1981 (à l'exception de quelques années humides), de ce fait on distingue une période humide (1950-1976) caractérisée par une année extrêmement humide (1964), puis la région a connu une période sèche (1977-2002). Un retour vers la normale est observé à partir de 2004, une année extrêmement humide est marquée en 2013.

La station de Tiaret a connu une période humide de 1950-1978, avec deux années extrêmement humides 1966, 1971. Une tendance à la baisse est observée tout au long de la période 1979-2007, deux années très sèches sont enregistrées 1982, 2000 ($-1,5 > \text{SPI} > -2$). Une légère hausse ait lieu à partir de 2008 avant qu'elle tende à rebaisser en 2013.

Au centre, la station d'Alger a connu une période pluvieuse 1950-1973 avec une année extrêmement humide 1972. Une diminution des précipitations est enregistrée de 1976 à 2001. L'année 2002 est le début vers l'état excédentaire, trois années extrêmement humides sont observées 2007, 2012, 2013. Les valeurs du SPI montrent un retour vers une période sèche à partir de 2014.

La station de Chéelif, n'a pas connu des extrêmes humides ni sèches, trois années très humides sont observées 1969, 1976 et 2011. Une diminution des précipitations est enregistrée à partir de 1977. La période sèche se situe entre 1977 et 2002. Un retour vers la normale est observé dès 2002.

A l'Est de la zone d'étude, les stations d'Annaba, Constantine et Sétif ne montrent pas une modification du régime pluviométrique selon le test de Pettitt.

Après une période très humide (1950-1959) Annaba a connu une période déficitaire (1960-1974) caractérisée par une année extrêmement sèche en 1961. L'année 1975 peut être le début d'une phase humide, deux années extrêmement humides ont été enregistrées 1982, 1984. Les autres années sont dans la normale $-1 > \text{SPI} > 1$ à l'exception de l'année 2008 qui a indiqué un caractère très sec $\text{SPI} = -1,70$.

Au niveau de Constantine, les SPI montrent un caractère excédentaire sur la période 1950-1984 à l'exception des années 1961, 1974, 1977 et 1983 qui ont connu une baisse de la pluviométrie. Deux années extrêmement humides sont observées 1976, 1984, alors que les années 2016 et 2017 sont modérément sèches et indique respectivement un SP de $-1,61$; $-1,58$.

La station de Sétif indique une légère tendance à la hausse, même si la période 1964-1983 montre un caractère déficitaire, l'année 1983 était la plus sèche $\text{SPI} = -1,92$. Un retour vers la normale est observée à partir de 1984, et une année extrêmement humide est enregistrée en 2009.

La sécheresse qui a frappé le nord de l'Algérie s'est jusqu'à présent manifestée par une augmentation des sécheresses modérées à fortes ($1 < \text{SPI} < 2$), et non par des sécheresses extrêmes. Les sécheresses modérées sont largement dominantes sur presque tous les quinquennats de 1975 à 2003.

❖ *Comment expliquer la variabilité des précipitations et particulièrement les sécheresses enregistrées au nord de l'Algérie ?*

Pour expliquer la baisse des précipitations au Nord de l'Algérie survenue à partir de la moitié des années 70, un intérêt a été accordé aux facteurs climatiques qui génèrent les précipitations. Il s'agit de la circulation atmosphérique générale et son impact sur la variabilité climatique. Il existe deux modes de circulation qui influencent la variabilité climatique à l'échelle globale il s'agit de : l'oscillation australe ou El Niño Southern Oscillation (ENSO), et l'oscillation Nord atlantique (NAO).

• *l'oscillation australe (ENSO)*

ENSO correspond à la fluctuation de la circulation atmosphérique entre le système de haute pression du Pacifique Sud-Est (Tahiti) et de basse pression du Pacifique Ouest (Darwin, Australie). Le phénomène ENSO se décompose en deux phases: la phase positive dite El Niño qui est un évènement chaud tandis que la phase négative dite La Niña qui est un évènement froid (Ropelewski et Halpert, 1996).

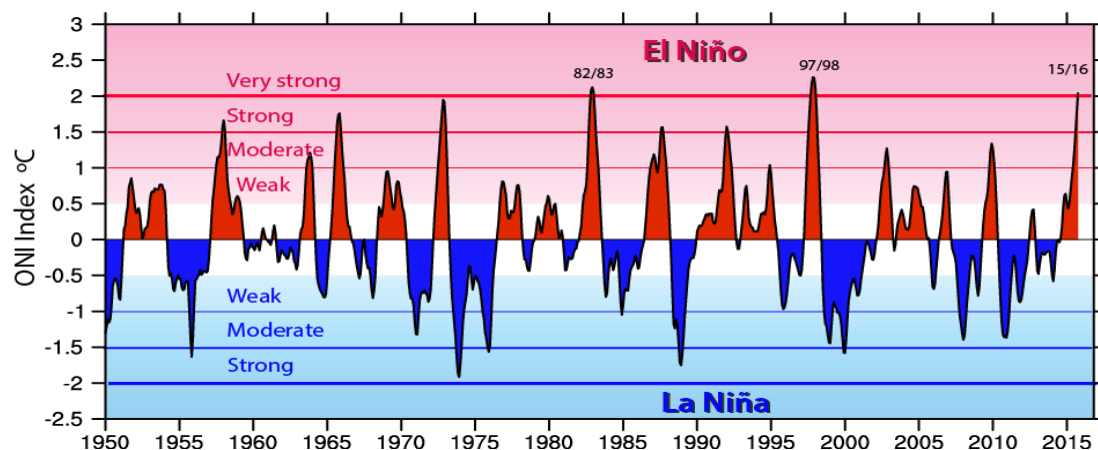


Figure 4.3. Evolution de l'indice ONI de 1950-2016 (Trenberth et al, 2016)

La figure (4.3) a mis en évidence le phénomène d'El-Niño est plus fréquent que la Niña, les années 82/83, 97/98, et 15/17 sont marquées par des pics de fortes augmentations observés au cours des années 80 et 90 et coïncide avec la période de rupture des stations pluviométriques. Effectivement, Meddi et al. (2010) ainsi que Taibi et al. (2017), ont montré l'influence

d'ENSO sur la variabilité interannuelle des précipitations particulièrement dans la région Nord-Ouest de l'Algérie qui a connu une baisse significative des précipitations.

- **Oscillation nord atlantique (NAO)**

Concernant la NAO ; elle correspond à la différence de pression atmosphérique entre l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande. L'indice NAO se calcule pour chaque hiver et il est compris entre -5 et +5. La NAO est caractérisée par deux phases (fig.4.4):

- ✓ Phase négative: Lors de cette phase une augmentation des précipitations est observée en Afrique du Nord.
- ✓ Phase positive: Lors de cette phase une baisse des précipitations et des sécheresses touchent l'Afrique du Nord

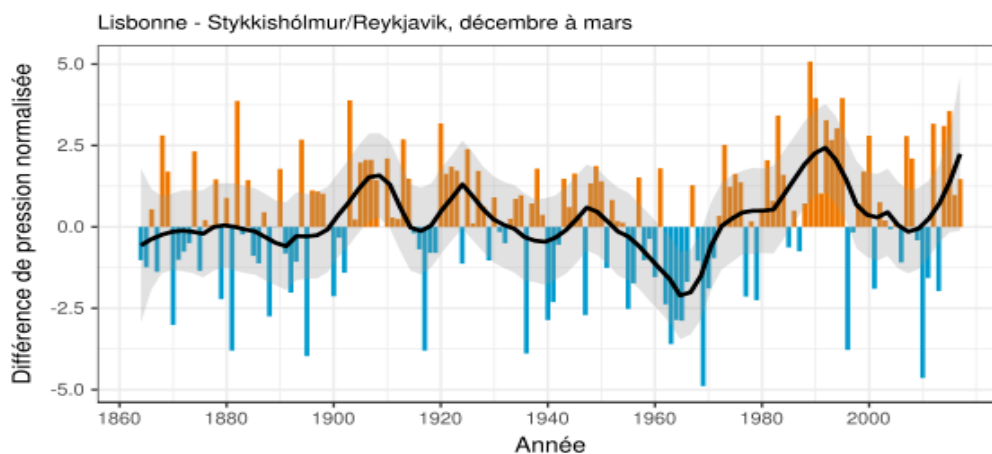


Figure 4.4. Variations annuelles de l'indice NAO hivernal de 1864 à 2017 (Hurrell., 2017)

(— phase positive ; — phase négative ; — moyenne mobile)

On observe d'après la moyenne mobile que les décennies 80 et 90 ont connu une augmentation marquante de l'indice NAO, il atteint son maximum d'environ 2,5 en 1991.

De nombreuses études ont lié les variations du régime pluviométrique de la Méditerranée à la circulation atmosphérique générale (Xoplaki et al., 2000; Xoplaki et al., 2004; Salameh, 2008; Lopez et al., 2010; Brandimarte et al., 2011), particulièrement l'Oscillation Nord Atlantique (NAO). D'après l'évolution de la NAO les années 40 à 70 ont connu un indice NAO négatif ce qui correspond à une période où les précipitations étaient en dessous de la normale. Depuis 1980, l'indice NAO est resté dans une phase fortement positive et a tendance à augmenter. Il ressort donc que l'évolution des précipitations du Nord de l'Algérie coïncide fortement avec l'évolution de la NAO et sa phase positive a beaucoup contribué à la sécheresse des 25

dernières années qu'a connu le pays. Taibi et al. (2017) ont montré l'influence de la NAO à l'échelle mensuelle particulièrement en hiver.

IV.2. Analyse des pluies extrêmes

Il existe plusieurs techniques statistiques adaptées à l'analyse de la variation des précipitations à l'échelle journalière; ce qui nous a mené à faire une sélection de méthode de seuillage pour évaluer la variation spatio-temporelle des extrêmes au nord de l'Algérie. Pour cela nous disposons de quatre séries pluviométriques journalières obtenues auprès de l'ONM qui correspondent à la période d'étude 1950-2017, à savoir ; Annaba, Constantine, Alger et Oran.

Le choix des indices de pluies journalières utilisés dans le cadre de notre travail est basé sur les indices d'extrêmes proposés par les experts d'ETCCDI ainsi que d'autres indices appliqués dans d'autres études. L'Office Mondial de Météorologie (OMM., 2016) définit les seuils comme suit : Sur le plan opérationnel, la caractérisation des précipitations utilisée par l'Agence de météorologie est la suivante:

- Pluie légère: 5 - 20 mm/j ;
- Pluie modérée: 20 - 50 mm/j ;
- Pluie forte: 50 - 100 mm/j ;
- Pluie très forte: >100 mm/j.

Il s'agit donc dans ce travail d'analyser la variabilité temporelle de chaque indice de pluies journalières du Nord de l'Algérie. L'analyse des pluies journalières repose sur la méthode de seuillage.

Les indices de pluies qu'on a utilisé dans notre travail reposent sur les seuils suivants :

- P5 : nombre de jours de pluies par an supérieur à 5mm
- P10 : nombre de jours de pluies par an supérieur à 10mm
- P50 : nombre de jours de pluies par an supérieur à 50mm
- P100 : nombre de jours de pluies par an supérieur à 100mm

IV.2.1. Variabilité des pluies extrêmes

Une analyse de la tendance et de la stationnarité pour la détection de rupture des indices de pluie journalière a permis d'apprécier la variabilité de la pluviométrie extrême sur la période d'étude. Au niveau de seuil 5mm (P₅) les résultats des tests de Mann-Kendall et Pettitt à l'échelle annuelle (tableau 4.5) au seuil de 5%, a montré que les stations d'Alger et Oran présentent une tendance significative à la baisse respectivement en 1987, 1982. Les stations

d'Alger et Oran ont enregistré respectivement une diminution de 17% et 20% du nombre de jours de pluie supérieure à 5 mm, tandis que les stations d'Annaba et Constantine ne montrent aucun changement significatif.

Par contre le seuil 10mm, toutes les stations ont indiqué une baisse de la pluviométrie significative à l'exception de la station d'Annaba. La station d'Alger a enregistré une diminution des précipitations de 14% en 1987, de 25% à Oran en 1981 et de 30% en 2005 à Constantine. L'étude menée par (Taibi, 2016) sur la période 1940-2010 a mis en évidence une baisse des pluies extrêmes sur la tranche 10-20mm à partir 1974.

Concernant le nombre de jours supérieurs à 50mm (P_{50}), la station d'Alger est la seule à indiquer une tendance à la baisse d'environ 61% à partir de 1979. Cette différence (61%) aussi importante s'explique par le nombre faible du nombre de jours de pluies supérieur à 50mm.

L'indice P_{100} ne montre aucune tendance au cours de la période 1950-2017 et pour les différentes stations. Taibi (2016) a trouvé les mêmes résultats, les extrêmes de pluies n'ont pas connu de changement significatif de $P > 50$ mm dans le nord de l'Algérie pendant la période 1940-2010.

A l'issu de ses résultats nous pouvons conclure que la baisse de la pluviométrie moyenne est associée à la réduction du nombre de jours de pluies de 5 à 50mm.

Tableau 4.5. Tendence des indices de pluies journalières selon les tests de Man-Kendall et Pettitt

P>5mm					
Station	Pettitt	Kendall	Moy-avant	Moy-après	Différence (%)
Oran	1982	rupture	29,2	23,3	-20
Alger	1987	rupture	43,3	36,1	-17
Constantine	-	-	-	-	-
Annaba	-	-	-	-	-
P>10mm					
Oran	1981	rupture	18,8	14,0	-25
Alger	1987	-	26,868	23,233	-14
Constantine	2005	rupture	20,375	14,333	-30
Annaba	-	-	-	-	-
P>50mm					
Oran	-	-	-	-	-
Alger	1979	-	1,2	0,474	-61
Constantine	-	-	-	-	-
Annaba	-	-	-	-	-
P>100mm					
Oran	-	-	-	-	-
Alger	-	-	-	-	-
Constantine	-	-	-	-	-
Annaba	-	-	-	-	-

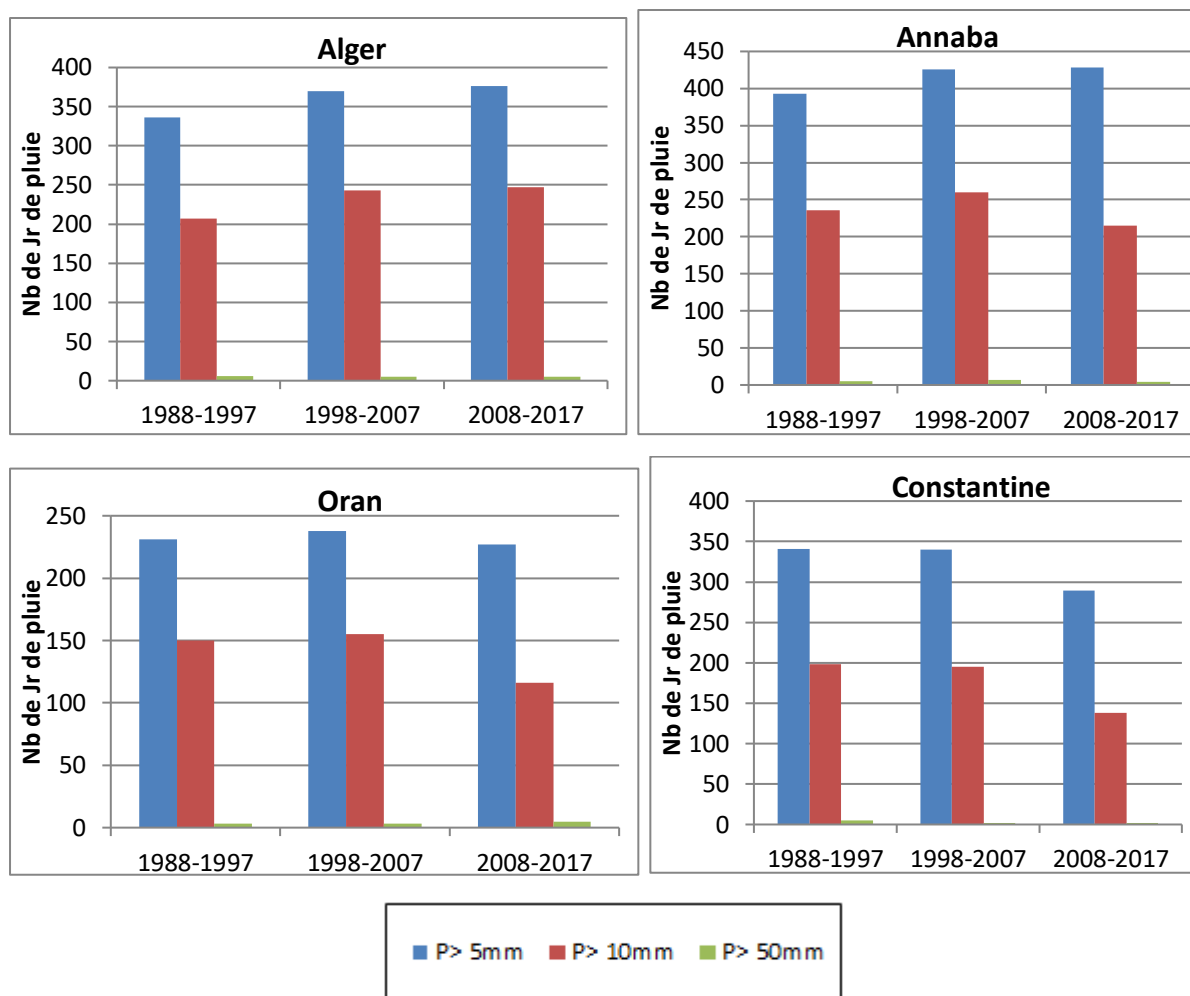


Figure 4.5. Évolution des pluies extrêmes au cours des 30 dernières années.

Il apparaît dans l'ensemble que les 3 seuils de pluies journalières indiquent une tendance négative pour les stations du centre-ouest Oran et Alger, et une tendance positive pour les stations d'est Annaba et Constantine (figure 4.5)

Cette tendance est notamment significative pour le seuil (5mm) au niveau de la station d'Oran, située à l'Ouest de la zone d'étude. La baisse de nombre d'évènement supérieurs à 5mm varie d'environ 3 à 5%/décennie. La décennie 2000 a le plus grand nombre d'évènement. Or, dans les décennies 80 et 90 le nombre d'évènement a baissé de 231 à 227 respectivement. Ces résultats coïncident avec ceux trouvés par Trambly et al. (2013) au Maghreb et d'autres auteurs en Méditerranée (Kioutsioukis et al., 2010; Norrant et Douguédroit, 2006; Brunetti et al., 2001). Une légère augmentation apparaît à partir des années 2000.

La station d'Alger, située au centre de la zone d'étude, a connu un nombre d'évènement supérieur à la région Ouest avec plus de 350 évènements supérieurs à 5mm par décennie. Les

résultats trouvés sont similaires à celles observées au niveau de la station d'Oran. Une diminution de nombre d'évènement est révélée entre les décennies 80 et 90, par contre la décennie 2008-2017 semble avoir le plus grand nombre d'évènement. Le nombre d'évènement a connu une hausse dès la décennie 2000.

Au côté Est, les stations d'Annaba et Constantine indiquent une légère tendance à la hausse de nombre d'évènement. La station de Constantine située au centre-est de la zone d'étude, ne montre aucun changement entre les décennies 88 et 98 avec un nombre d'évènements de 340/décennie). Les nombres d'évènement ont légèrement diminué pour la décennie 2008.

Le poste pluviométrique d'Annaba situé à l'extrême Est de la zone d'étude, indique dans l'ensemble un nombre d'évènement régulièrement réparti pour toutes les décennies. Une hausse de nombre d'évènements est bien observée avec un nombre d'évènements de 393 pour la décennie 88 et supérieur à 400 pour les décennies 98 et 2008.

Pour le seuil de 10mm, les stations allant d'Ouest vers l'Est : Oran Constantine et Annaba indiquent une baisse de nombre d'évènement pour les trois décennies, la station d'Oran enregistre un nombre d'évènement de 150 à 155 pour les décennies 88 et 98 alors que les années 2008-2017 enregistre une diminution de 25%.

La station de Constantine a enregistré une baisse de 31% à partir la décennie 2008 1981. Contrairement la station d'Annaba une hausse de 2% entre les décennies 88 et 98 puis une baisse de 17% à partir dans la décennie 2008-2017.

Concernant le seuil 50mm défini comme étant pluie forte, la diminution n'est pas significative pour les quatre stations.

IV.3. Analyse des températures du Nord de l'Algérie

La température est un paramètre clé dans l'étude et la caractérisation des climats. Dans le monde, plusieurs chercheurs ont mené des études concernant le réchauffement de l'atmosphère. L'analyse de l'évolution des températures permet de déterminer d'une part l'influence du réchauffement global sur le réchauffement local et, d'autre part, la concordance entre la tendance des températures et la tendance des précipitations dans la zone d'étude. C'est dans ce contexte que notre étude va se dérouler, l'analyse de la tendance sera effectuée par les tests de Pettitt et Mann-Kendall afin de détecter tout changement spatio-temporel.

IV.3.1. Variabilité des Températures moyennes annuelles

Les températures moyennes annuelles diminuent progressivement d'Ouest en Est de la région d'étude, leurs évolution annuelle (figure 4.6) montre que les stations côtières (Alger, Oran, Annaba) présentent pratiquement les mêmes variations de l'ordre de (17°C). Les températures annuelles enregistrées à Constantine et Tiaret sont d'environ (15°C), elles sont moins à Sétif d'environ (14°C). Tandis que les stations de Chélif et Mascara affichent une température moyenne annuelle d'environ (19°C), (17°C) respectivement.

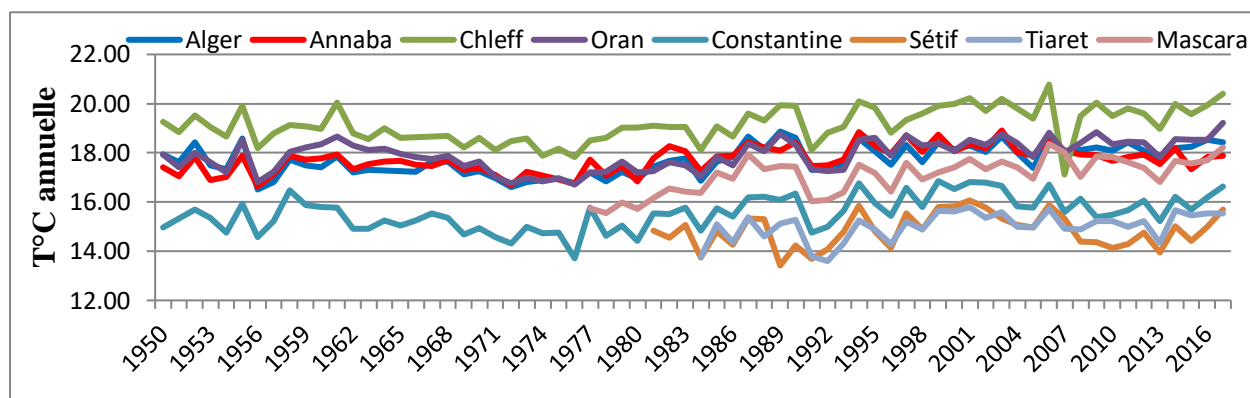


Figure 4.6. Évolution des températures annuelles (1950-2017)

Les températures minimales interannuelles, sont d'environ 16,5°C pour les stations côtières, elles sont moins importantes Sétif, Tiaret d'environ 16°C et 14°C à Constantine (à cause des hivers froids de la région) et plus importante à Chélif et Mascara environ 18°C. Ces températures sont marquées au début des années 70, à l'exception d'Alger et Annaba (figure 4.7).

Les températures maximales interannuelles sont d'environ 19°C pour les stations côtières, 17°C à Constantine, 16°C à Sétif et Tiaret, 19°C à Mascara et d'environ 20,8°C à Chélif. Ces températures sont observées en 1989 pour Alger, en 2003 à Annaba, au début des années 2000 à Constantine, Sétif et Tiaret, en 2006 à Mascara et Chélif et en 2017 pour Oran.

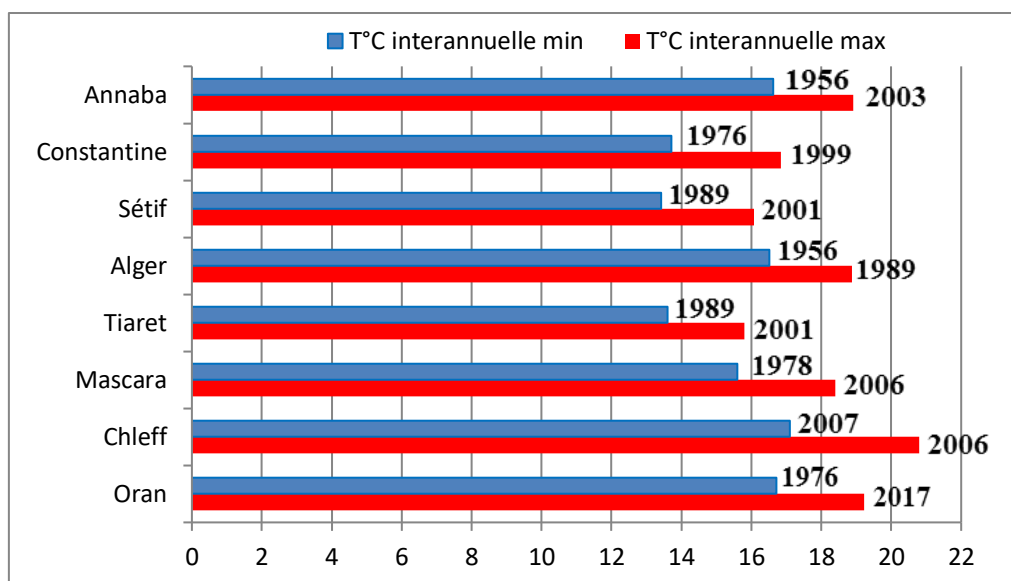


Figure 4.7. Températures maximales et minimales interannuelles

a. Analyse de la tendance des températures par la moyenne mobile :

Dans l'ensemble, l'analyse graphique de l'évolution annuelle des températures (figure 4.8) met en évidence trois phases par rapport à la moyenne interannuelle :

- La première phase : entre 1950 et début des années 70, apparait comme une période de réchauffement à Alger, Oran et Chleff. À Annaba et Constantine les températures sont plutôt en dessous de la moyenne ;
- La deuxième phase : entre la moitié des années 70 et début des années 80, s'annonce comme une période de refroidissement pour toutes les stations ;
- La troisième phase : entre la moitié des années 80 et 2017, est une période de réchauffement, où les températures atteignent leur maximum.

L'ensemble des stations présente une phase de refroidissement entre les années 70 et 80.

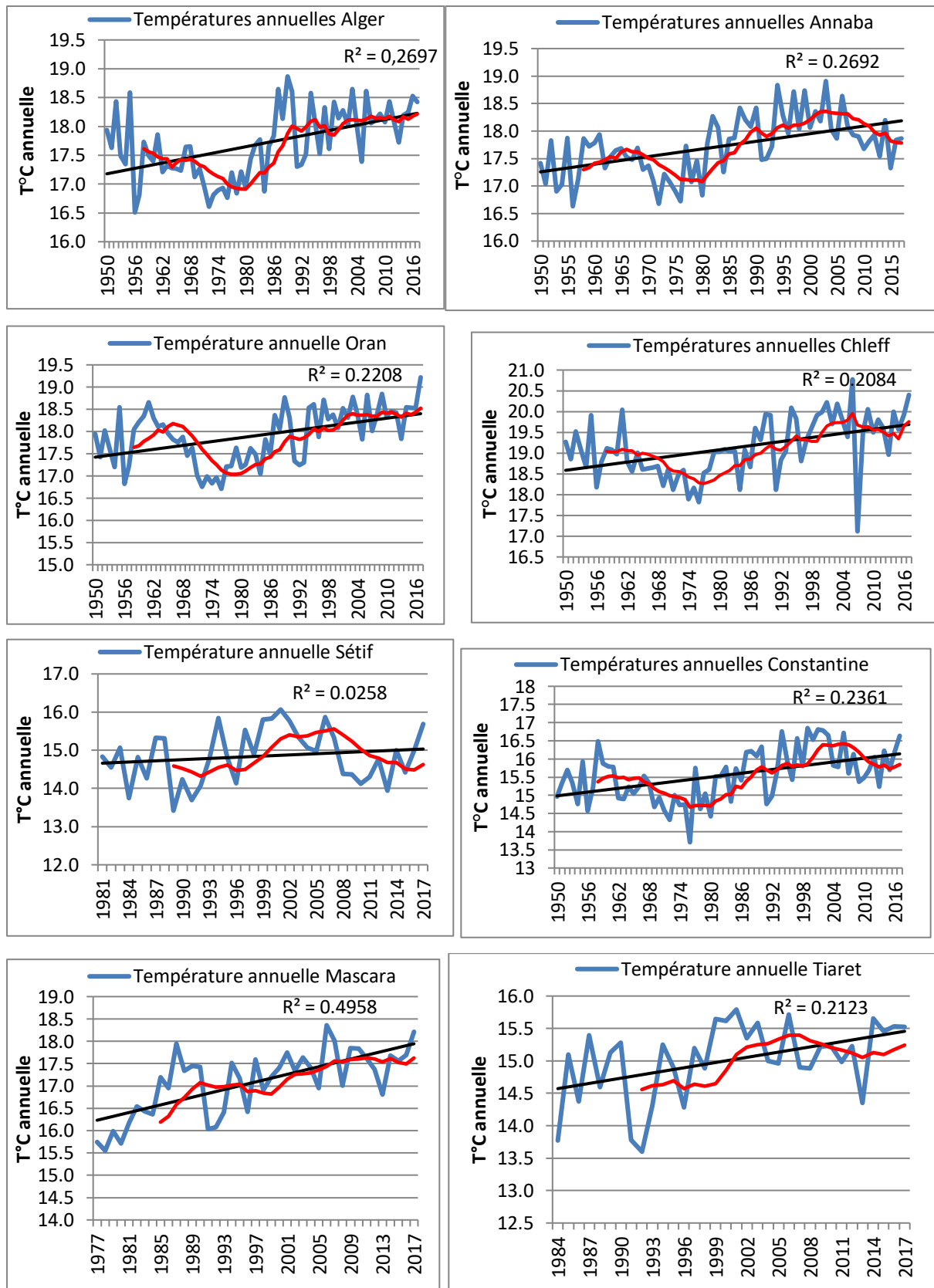


Figure 4.8. Tendence des températures annuelles par régression linéaire et leurs moyennes mobiles (— moyenne mobile 9ans ; — courbe de tendance).

La tendance des températures par régression linéaire est à l'augmentation à partir de la moitié des années 70 (figure 4.8) pour toutes les stations. Cette augmentation est marquée à Alger ($R^2= 0,26$), à Annaba ($R^2= 0,26$), à Constantine ($R^2= 0,23$) et à Mascara ($R^2 = 0,49$), plus ou moins importante à Oran ($R^2= 0,22$), à Tiaret ($R^2 = 0,21$) et Chélif ($R^2= 0,20$), et elle est moins importante à Sétif ($R^2= 0,02$).

b. Analyse de la tendance des températures par les tests de rupture

L'application des tests de stationnarité (Pettitt et Man-Kendall) a été établie pour détecter une rupture au sein des séries de températures annuelles. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous. Une moyenne avant et après le point de rupture est calculée aussi par rapport au test de Pettitt ainsi que la différence entre ces deux moyennes.

Tableau 4.6. Tendance des températures annuelles

Station	Kendall	Pettitt	Moy-avant	Moy-après	Différence °C
Oran	0,15	1986	17,6	18,3	0,7
Chélif	0,18	1986	18,8	19,6	0,8
Mascara	0,43	1996	16,6	17,5	0,9
Tiaret	0,24	1998	14,7	15,3	0,6
Alger	0,17	1985	17,3	18,1	0,8
Sétif	-	-	-	-	-
Constantine	0,17	1984	15,1	16,0	0,9
Annaba	0,12	1981	17,4	18,1	0,7

Selon le test de Mann-Kendall, toutes les stations enregistrent une augmentation des températures annuelles à l'exception de la station de Sétif qui ne montre aucun changement, les tendances de la pente de Sen montre respectivement une augmentation de 0,15°C/décade, 0,17°C/décade et de 0,12°C/décade pour les stations côtières Oran, Alger et Annaba. Une hausse de 0,18°C/décade est enregistrée à Chélif, de 0,43°C/décade à Mascara et de 0,24°C/décade à Tiaret. La station de Constantine enregistre la même hausse que la station d'Alger d'environ 0,17°C/décade. Concernant le test de Pettitt, la quasi-totalité des stations étudiées enregistrent un réchauffement des températures annuelles à partir des années 1980. Cette augmentation oscille entre 0,5°C et 0,9°C. Tandis que la station de Sétif ne montre aucune rupture. Le GIEC (2007) a soulevé dans son 3^{ème} rapport, que l'hémisphère nord a été frappé par une augmentation des températures de l'ordre de 0,6°C entre 1901-2000.

c. Analyse des températures mensuelles :

Pour déterminer la saison ou les mois qui affectent la variation interannuelle des températures nous avons soumis les séries mensuelles des neuf stations aux tests de rupture Pettitt et Kendall. Les tableaux suivants illustrent l'année de rupture donnée par le test de Pettitt ainsi que la différence de moyenne avant et après l'année considérée et l'amplitude de la pente de Sen en (mm/décade)

Le tableau (4.7) présente les valeurs de la pente Sen au seuil 0.05 de signification, L'amplitude de la tendance des températures mensuelles varie de 0.18 à 0,33 °C /décade à la station d'Alger, d'environ 0,2 à 0,27°C/décade à la station d'Oran et entre 0,22 à 0,35°C/décade à la station de Constantine pour les mois d'Avril, mai, juin, juillet aout et octobre. Des tendances significatives à la hausse ont été observées dans la moyenne mensuelle des températures pour la station de Mascara en mois de mars, avril, mai, juin, juillet, aout et octobre d'environ 0,28°C/décade, 0,57°C/décade, 0,98°C/décade, 0,86°C/décade, 0,82°C/ décade, 0,64°C/décade et 0,64°C/décade respectivement.

Seul les mois d'avril et de juillet qui montrent une augmentation de 0,79°C/décennie et 0,6°C/décade respectivement à la station de Tiaret. La station d'Annaba enregistre une hausse qui oscille de 0,19mm/décade à 0,3°C/décade pour les mois d'avril, mai, juin, juillet aout et octobre, de plus le mois mars pour la station de Chélif une augmentation entre 0,14 et 0,39°C/décade excepté le mois de mai.

Le test de Pettitt (tableau 4.8) indique, pour la plupart des stations, que ce sont les mois d'été (la saison chaude) ; mai, juin, juillet et Aout qui présentent une rupture très significative. L'augmentation de température dépasse le plus souvent 1°C et peut atteindre 2°C.

Selon le test de Pettitt à Alger, ce sont les saisons d'automne, d'été et de printemps qui indiquent une rupture. Le mois d'Octobre enregistre une augmentation de 1,5°C à partir de 1984. En saison chaude, le mois d'Aout marque une augmentation des températures de 1,6°C à partir de 1985 ce qui coïncide avec la rupture annuelle. Les mois de juin, juillet et Aout indiquent quant à eux successivement une augmentation de 1,3 et 1,5°C. Tandis qu'au printemps les mois d'Avril et mai indique une hausse e l'ordre de 1 et 1,1°C. L'été apparaît comme la saison qui influe le plus sur la variation des températures puisque les ruptures observées à l'échelle du mois coïncident avec celles observées pendant l'année.

A Oran, les saisons de printemps, d'automne et d'été indiquent un réchauffement, excepté, le mois de septembre. Le mois d'octobre indique un réchauffement de 1°C en 1984. Au

printemps, les mois de mars, d'avril et de mai enregistrent respectivement une augmentation des températures de 0,8°C en 1986, de 1,3°C en 1994 et de 1,2°C en 1994. En été, le mois de juin indique un réchauffement à partir de 1995 d'environ 1,4°C. Les mois de juillet et août indiquent respectivement une hausse de 1,1 et de 1°C, entre la moitié des années 80 et début des années 90. Les ruptures observées pour les 12 mois de la station d'Oran diffèrent d'un mois à l'autre.

À Constantine, les mois d'avril, mai, juin, juillet, août et octobre indiquent une augmentation des températures. Les mois d'avril et mai indiquent respectivement une augmentation de 1,4°C, 1,7°C à partir la moitié des années 90. En été le mois de juin enregistre une hausse de 1,8°C en 1992 alors que les mois juillet et août indique une hausse d'environ 1,5°C entre le début et moitié des années 80. Le mois d'octobre, lui aussi enregistre une augmentation des températures de presque 2°C à partir de 1985.

À Mascara, ce sont les saisons de printemps, d'été et d'automne qui indiquent une augmentation des températures. Les mois de mars et avril enregistrent respectivement une hausse de 1°C et 1,3°C à partir de 1988 et 1996, or, le mois de mai est marqué par une forte augmentation d'environ 2°C à partir des années 90. En saison sèche, les mois de juin, juillet et août indiquent respectivement une hausse importante des températures de l'ordre de 2,1°C, 1,8°C et 2,3°C entre la fin des années 90 et la moitié des années 80. Le mois d'octobre est le seul marqué par un réchauffement d'environ 1,8°C à partir 1998. Le mois d'avril est le seul à présenter une variation mensuelle proche de la variation annuelle des températures à Mascara.

À Tiaret, c'est la saison sèche qui enregistre une augmentation des températures, en plus du mois d'octobre qui est marqué par un réchauffement le plus important de l'année d'environ 1,8°C à partir de 1998. Les mois de juin et juillet sont marqué respectivement par un réchauffement d'environ 1,6°C et 1,3°C, à partir de 1997 et 2002.

À Annaba, les saisons d'automne, de printemps et d'été enregistrent une augmentation des températures. Le mois d'octobre, indique une augmentation maximale de 1,5°C. Les mois de septembre et novembre ont marqué une augmentation qui s'échelonne entre 0,7°C et 0,8°C en automne. Au printemps le mois d'avril enregistre un réchauffement d'environ 0,9°C en 1980. Le mois de mai indique une augmentation de 1°C à partir des années 90. En été, tous les mois indiquent une augmentation des températures qui oscillent entre 1°C et 1,2 °C.

Nous pouvons constater que ce sont les mois d'Octobre, juillet et Août qui présentent les mêmes tendances qu'à l'échelle annuelle.

À Chélif, tous les mois indiquent une augmentation des températures à l'exception des mois de septembre, novembre, janvier et février. Au printemps, les mois de mars et mai indiquent respectivement un réchauffement de 1°C et 1,2°C à partir des années 90 tandis que le mois d'avril enregistre une hausse moins importante de 0,9°C en 1983. Durant la saison chaude, le mois de juin a enregistré une augmentation de 1,6°C à partir du début des années 90, où les mois de juillet et août, eux aussi, indiquent respectivement une hausse entre la fin des années 90 et la moitié des années 80 d'environ 1,1°C et 1,3°C. En automne, seul le mois de novembre montre une augmentation importante de 1,7°C à partir la moitié des années 80. Tandis qu'en hiver le mois de décembre indique une légère augmentation à partir de 1975 d'environ 0,9°C.

Quant à la station de Sétif, aucune variation des températures n'est enregistrée, ceci est peut-être dû à la situation géographique de la région.

Tableau 4.7. Tendence des températures mensuelles et pente de sen associée au test de Mann-Kendall (°C/décade)

Mois	Jan.	fév.	mars	avril	mai	juin	Juill.	août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alger	-	-	-	0,18	0,21	0,32	0,33	0,28	-	0,31	-	-
Oran	-	-	-	0,23	0,2	0,27	0,2	0,12	-	0,25	-	-
Constantine	-	-	-	0,26	0,31	0,33	0,31	0,22	-	0,35	-	-
Sétif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mascara	-	-	0,28	0,57	0,98	0,86	0,82	0,64	-	0,61	-	-
Tiaret	-	-	-	0,79	-	-	0,6	-	-	-	-	-
Annaba	-	-	-	0,19	0,19	0,2	0,25	0,18	-	0,3	-	-
Chélif	-	-	0,14	0,24	-	0,31	0,17	0,24	-	0,39	-	-

Tableau 4.8. Tendence des températures mensuelles selon le test de Pettitt

Mois	Jan.	fév.	mars.	avr.	mai.	juin.	juill.	août.	sept.	oct.	nov.	déc.
Alger												
Date de rupture	-	-	-	1995	1987	1984	1981	1985	1985	1984	-	-
Différence°C	-	-	-	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	0,9	1,5	-	-
Oran												
Date de rupture	-	-	1986	1994	1991	1995	1993	1985	-	1984	-	-
Différence°C	-	-	0,8	1,3	1,2	1,4	1,1	1,0	-	1,0	-	-
Constantine												
Date de rupture	-	-	-	1997	1992	1992	1981	1985	-	1985	-	-
Différence°C	-	-	-	1,4	1,7	1,8	1,6	1,3	-	1,8	-	-
Sétif												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mascara												
Date de rupture	-	-	1988	1996	1993	1997	1997	1985	-	1998	-	-
Différence°C	-	-	1,0	1,3	2,0	2,1	1,8	2,3	-	1,8	-	-
Tiaret												
Date de rupture	-	-	-	-	-	1997	2002	-	-	1998	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	1,6	1,3	-	-	1,8	-	-
Annaba												
Date de rupture	-	-	-	1980	1992	1992	1981	1985	1980	1985	1982	-
Différence°C	-	-	-	0,9	1,0	1,0	1,2	1,1	0,7	1,5	0,8	-
Chélif												
Date de rupture	-	-	1992	1983	1991	1992	1997	1985	-	1984	-	1975
Différence°C	-	-	1,0	0,9	1,2	1,6	1,09	1,3	-	1,7	-	0,9

IV.3.2. Analyse des températures minimales et maximales

L'analyse des températures minimales et maximales annuelles est intéressante pour la détection d'un changement significatif, les données sont recueillies aux stations indiquées auparavant dans chapitre III (figure 3.1) sur une période qui diffère d'une station à l'autre (tableau 3.1). Elle consiste à analyser la stationnarité des séries chronologiques des températures extrêmes et leur évolution spatio-temporelle dans la zone d'étude. L'analyse est effectuée par les tests de rupture de Pettitt et Mann-Kendall.

Toutes les stations indiquent une tendance à la hausse des températures qu'elles soient minimales ou maximales. Les résultats des tests de rupture sont présentés dans le tableau ci-dessous. Une moyenne avant et après le point de rupture est calculée aussi par rapport au test de Pettitt ainsi que la différence entre ces deux moyennes.

Tableau 4.9. Résultats des tests de rupture des températures minimales et maximales

Station	Pettitt		Kendall		Moy-avant		Moy-après		Différence °C	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
Oran	1993	1986	0,21	0,17	23,2	12,0	24,2	12,8	1,0	0,8
Chélif	1986	1992	0,20	0,30	25,2	12,4	26,0	13,7	0,9	1,3
Mascara	1999	2000	0,45	0,66	23,9	9,5	24,8	10,8	0,9	1,3
Tiaret	1998	-	0,62	-	21,0	-	22,4	-	1,3	-
Alger	1985	1984	0,28	0,08	22,9	11,7	24,1	12,2	1,2	0,5
Sétif	1998	2007	0,62	-	20,1	9,5	21,3	8,3	1,2	-1,3
Constantine	1996	1980	0,23	0,28	21,7	8,6	22,9	9,8	1,3	1,2
Annaba	1981	1980	0,22	0,17	22,6	12,1	23,5	12,9	0,9	0,8

Selon le test de Mann-Kendall, toutes les stations montrent une hausse suivant les tendances de la pente de Sen de chaque station des températures minimales excepté les stations de Tiaret et Sétif. Une hausse de $0,17^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ est enregistrée dans les stations d'Oran et Annaba. Les stations de Chélif et Constantine indiquent une augmentation qui varie entre $0,28^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ et $0,30^{\circ}\text{C}/\text{décade}$. Or, la station de Mascara est marquée par une hausse d'environ $0,66^{\circ}\text{C}/\text{décade}$. Une légère augmentation ($0,08^{\circ}\text{C}/\text{décade}$) est observée au niveau de la station d'Alger. Pour les températures maximales, les tendances de la pente de Sen indiquent une augmentation des températures dans toutes les stations, soit, les stations d'Oran, Chélif, Alger, Constantine et Annaba enregistrent un réchauffement qui s'échelonne entre $0,20^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ et $0,29^{\circ}\text{C}/\text{décade}$. Tandis que les stations de Mascara, Tiaret et Sétif sont marquées par une hausse de $0,45^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ et $0,62^{\circ}\text{C}/\text{décade}$ respectivement.

Pour le test de Pettitt, toutes les stations enregistrent une augmentation des températures maximales annuelles entre les années 80 et les années 90. Cette augmentation est supérieure à $0,9^{\circ}\text{C}$, et dépasse 1°C à Oran, Tiaret, Alger, Sétif, et Constantine. De même, les températures

minimales indiquent une augmentation à partir des années 80 qui dépasse 1°C pour la quasi-totalité des stations, et atteint 1,3°C à Chélif et Mascara. Par contre la station de Sétif montre un refroidissement de -1,3°C.

Toutes ses tendances sont enregistrées pour des périodes allant du début des années 80 et la fin des années 90.

a. Analyse des températures minimales et maximales à l'échelle mensuelle

Pour déterminer la saison ou les mois qui influent le plus sur la variation interannuelle des températures minimales et maximales nous avons soumis les séries mensuelles des 8 stations aux tests de rupture Pettitt et Kendall. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-après qui illustre l'année de rupture donnée par le test de Pettitt ainsi que la différence de moyenne avant et après l'année considérée.

Une variabilité des températures minimales et maximales mensuelles a été observée dans toutes les stations. Pour les températures minimales les résultats de test de Mann-Kendall (tableau 4.10) met en évidence une hausse des températures dans toutes les stations étudiées excepté les stations de Tiaret et Sétif. La station d'Alger enregistre une amplitude de 0,27 mm/décade et 0,29mm/décade en mois de juillet et aout, respectivement. Pour les autres stations, ce sont les saisons d'automne, printemps et d'été qui ont marqué par une augmentation. Concernant les températures maximales (tableau 4.11), suivant les valeurs de la pente de sen. Toutes les stations montre une amplitude positive dans tous les mois, à l'exception du mois de février, on observe que les mois d'avril, juin et octobre sont les plus à connaître un réchauffement.

Tableau 4.10. Tendence des températures minimales selon le test de Mann-Kendall (pente de sen °C /décade).

Mann-Kendall												
Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alger	-	-	-	-	-	-	0,27	0,29	-	-	-	-
Oran	-	-	-	0,17	0,23	0,29	0,28	0,24	0,2	0,25	-	-
Constantine	-	-	0,24	0,36	0,39	0,4	0,46	0,4	0,25	0,42	0,21	-
Sétif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mascara	-	-	0,5	0,57	0,91	0,97	1,04	1,04	0,8	0,86	0,55	-
Tiaret	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Annaba	-	-	0,16	0,19	0,17	0,16	0,26	0,19	0,13	0,33	0,25	-
Chélif	-	-	0,24	0,19	0,24	0,32	0,33	0,38	0,29	0,49	0,2	0,29

Tableau 4.11. Tendance des températures maximales selon le test de Mann-Kendall (pente de $\text{sen } ^\circ\text{C}/\text{décade}$).

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Alger	0,19	-	-	0,31	0,26	0,52	0,39	0,3	0,15	0,52	-	0,21
Oran	0,2	-	0,15	0,35	-	0,3	0,17	-	-	0,38	-	-
Constantine	-	-	-	0,32	0,34	0,4	0,26	-	-	0,47	-	-
Sétif	0,58	-	0,81	0,79	0,89	-	0,66	0,65	-	1,0	-	0,61
Mascara	-	-	-	1,06	1,15	0,96	0,67	0,65	-	0,98	-	-
Tiaret	0,59	-	-	1,34	-	1,0	0,81	0,6	-	1,22	-	-
Annaba	0,022	-	-	0,25	0,23	0,29	0,26	0,2	-	0,5	0,27	-
Chélif	-	-	0,2	0,35	-	0,4	-	0,19	-	0,55	-	-

Le test de Pettitt indique, pour la plupart des stations, que ce sont les mois d'été (la saison chaude) ; mai, juin, juillet et Aout qui présentent une rupture très significative. L'augmentation de température dépasse le plus souvent 1°C et peut atteindre 3°C (tableau 4.12).

À Alger, ce sont les mois d'automne et d'été qui indiquent une rupture. Les mois de juillet et aout enregistre une hausse pratiquement proche d'environ $1,5^\circ\text{C}$ à partir les années 80. Une augmentation de $0,9^\circ\text{C}$ et $1,1^\circ\text{C}$ ait lieu respectivement en septembre et octobre à partir de 1980.

À Oran, l'automne, le printemps et l'été présentent une augmentation des températures. Les mois de septembre et octobre enregistrent respectivement un réchauffement d'environ $1,1^\circ\text{C}$ et $1,3^\circ\text{C}$ à partir 1981 et 1984. Au printemps, une hausse d'environ $0,7^\circ\text{C}$ est observée en mars, de 1°C en avril et d'environ $1,2^\circ\text{C}$ entre la fin des années 80 et le début des années 90. En période sèche, les mois de juin, juillet et aout présentent presque les meme résultats l'augmentation varie de $1,3^\circ\text{C}$ à $1,6^\circ\text{C}$ respectivement à partir de 1994, 1986 et 1985. Il apparait que le mois de juillet a la même variation qu'à l'échelle annuelle.

À Constantine, tous les mois e l'année indiquent un réchauffement, excepté, les mois de décembre et janvier. Les mois de septembre, octobre et novembre enregistrent respectivement un réchauffement d'environ $1,3^\circ\text{C}$, $1,9^\circ\text{C}$ et $1,4^\circ\text{C}$ à partir de 1985 et 1981. Une augmentation de $1,4^\circ\text{C}$ est enregistrée en mois de février à partir la moitié des années 60. Au printemps, les mois de mars, avril et mai, indiquent un réchauffement de 1°C , $1,4^\circ\text{C}$ et $1,5^\circ\text{C}$ à partir le début des années 80. En été, les mois de juin et aout indique la même variation, une hausse de $1,7^\circ\text{C}$ à partir le début des années 80, alors que le mois de juillet indique une augmentation de 2°C à partir de 1981. Nous pouvons constater que ce sont les mois d'avril, mai et juin qui présentent les mêmes tendances qu'à l'échelle annuelle.

À Sétif, ce sont les mois de septembre, novembre, décembre et février qui sont marqué respectivement par un refroidissement d'environ $-1,1^{\circ}\text{C}$, $-1,3^{\circ}\text{C}$, $-1,4^{\circ}\text{C}$ et $-1,1^{\circ}\text{C}$ à partir de 2007 pour septembre et novembre, 2006 pour décembre et 2004 pour février. C'est la saison d'automne qui présente presque la même variation enregistrée à l'échelle annuelle.

À Chélif, c'est l'automne, le printemps et l'été en plus de mois de décembre qui indiquent une rupture. Les mois de septembre, octobre et novembre sont caractérisés respectivement par un réchauffement d'environ $1,7^{\circ}\text{C}$, 2°C et $1,4^{\circ}\text{C}$ à partir de 1996, 1985 et 1986 et le mois de décembre par une augmentation de $1,2^{\circ}\text{C}$ à partir de 1988. Au printemps, les mois de mars et sont caractérisés par la même variation qui est d'environ $1,4^{\circ}\text{C}$ à partir le début des années 90 et le mois d'avril par une hausse de $0,9^{\circ}\text{C}$ durant les années 80. Tandis que, l'été, est marqué par une augmentation des températures de $1,7^{\circ}\text{C}$ en mois de juin, de $1,6$ en juillet et de $1,9^{\circ}\text{C}$ en aout respectivement à partir 1992 (juin et juillet) et 1985. Nous observons que la saison sèche enregistre des variations similaires à celle observée à l'échelle annuelle.

À Mascara, tous les mois indiquent une augmentation des températures à l'exception de novembre, décembre, janvier et février. Les mois de septembre et octobre indique la même augmentation, d'environ 2°C à partir la moitié des années 90. Au printemps, une augmentation de $1,3^{\circ}\text{C}$ est enregistrée en mois de mars en 1989, de $1,5^{\circ}\text{C}$ en mois d'avril en 2005 et d'environ 2°C en mois de mai en 1996. En saison sèche, les mois de juin et juillet sont marqués par une hausse importante d'environ 2°C à partir la deuxième moitié des années 90. Tandis que le mois d'aout est caractérisé par une augmentation très importante de 3°C à partir de 1985.

À Tiaret, les tests de rupture n'ont montré aucun changement significatif au sein des séries chronologiques.

À Annaba, toutes les saisons de l'année indiquent une rupture à l'exception de la saison d'hiver. En automne, les mois de septembre, octobre et novembre indiquent une augmentation des températures respectivement de $0,8^{\circ}\text{C}$, $1,6^{\circ}\text{C}$ et $1,4^{\circ}\text{C}$ durant les années 80. Au printemps, les mois de mars et mai ont connu une rupture dans la même année 1985 respectivement d'environ $0,6^{\circ}\text{C}$ et $0,9^{\circ}\text{C}$ alors que le mois d'avril est caractérisé par une hausse de $0,9^{\circ}\text{C}$ ce qui coïncide avec celle enregistrée à l'échelle annuelle. En été, les mois de juin, juillet et aout sont marqué par un réchauffement respectivement de $0,9^{\circ}\text{C}$, $1,3^{\circ}\text{C}$ et 1°C entre le début et la fin des années 80.

Concernant les températures maximales, le test de Pettitt indique, pour la plupart des stations, que ce sont les mois d'été (la saison chaude) ; mai, juin, juillet et Aout qui présentent une

rupture très significative. L'augmentation de température dépasse le plus souvent 1°C et peut atteindre 3°C (4.13).

À Alger, tous les mois indique une augmentation des températures exceptées les mois de novembre, janvier et février. Les mois de mars, avril et mai indiquent respectivement une hausse de 0,9°C, 1,4°C, 1,6°C à partir le début des années 80 et le début des années 90. Les mois de saison chaude juin, juillet et aout montrent une hausse pratiquement proche à partir la moitié des années 80 d'environ 2°C. Pour l'automne le mois de septembre indique une augmentation de 0,9°C à partir 1982 tandis que le mois d'octobre enregistre une hausse à partir 1984 d'environ 2,1°C. Nous constatons que les mois de juin, juillet et aout présentent la même variation qu'à l'échelle annuelle.

À Oran, la quasi-totalité des mois montre une tendance à la hausse, sauf les mois de septembre, novembre et février. Les mois de décembre et janvier sont marqués par un réchauffement d'environ 1°C à partir 1975 et 1994. Les mois de printemps indiquent une augmentation d'environ 0,9°C en mars, 1,5°C en avril et 1°C en mai respectivement à partir 1986, 1991, 1993. En saison sèche juillet et aout affichent une hausse des températures entre la fin des années 90 et la moitié des années 80 d'environ 1,3°C et 0,9°C. Pour le mois d'octobre, une hausse de 1,7°C est enregistrée à partir 1996. Il apparait que le mois de mai coïncide d'avoir la même variation qu'à l'échelle annuelle.

À Constantine, la saison chaude indique un réchauffement qui s'échelonne de 1,5°C à 2,6°C, ce sont les mois d'avril, mai, juin, juillet et aout qui sont marqués par cette hausse importante entre la moitié des années 80 et des années 90. Nous observons que le mois de juin marque une variation similaire à celle observée à l'échelle annuelle.

À Sétif, ce sont le printemps et l'été qui indiquent une augmentation des températures en plus des mois de janvier et octobre. Les mois de mars et avril enregistrent une hausse pratiquement proche d'environ 2°C à partir 1996 et 2005. En été les mois de juin, juillet et aout indiquent un réchauffement qui varie de 1,5°C à 1,8°C à partir 1996, 2002 et 2007. Or, le mois d'octobre est marqué par une augmentation importante atteint 2,6°C à partir 2000.

À Chélif, au printemps, les mois mars, avril et mai indiquent respectivement un réchauffement de 1,2°C, 1,6°C et 1,4°C à partir 1986, 1994 et 1991. Les mois de juin et d'aout enregistre une hausse de 2,3°C à partir 1997 alors que 1,1°C est observé en aout à partir la moitié des années 80. En saison froide les mois d'octobre et décembre indiquent respectivement une augmentation des températures d'environ 2,4°C et 1,1°C entre la moitié des années 90 et des années 70. On peut constater que les mois de mars et juillet coïncide d'avoir la même variation qu'à l'échelle annuelle.

La station de Mascara, seulement la saison chaude est marquée par une augmentation des températures en plus du mois d'octobre. Les mois d'avril et mai sont marqués par une hausse en même année 1998 qui varie de 2°C à 2,3°C. En été les mois de juin enregistrent une augmentation de 2,4°C, juillet de 1,4°C et août d'environ 1,8°C respectivement à partir 1997, 2002 et 2007. Pour le mois d'octobre un réchauffement important est observé à partir les années 2000 qui est d'environ 2,5°C.

À Tiaret, les mois de mars et avril enregistrent une augmentation respectivement plus ou moins proche d'environ 2°C et 2,2°C à partir de la deuxième moitié des années 90. En saison sèche, le mois de juin indique un réchauffement de 2,5°C, tandis que les mois de juillet et août sont marqués par une hausse variant de 1,8°C à 1,3°C à partir de 2002 et 1998. Or, une augmentation importante est enregistrée en mois d'octobre à partir des années 2000 qui est d'environ 3°C.

À Annaba, ce sont les mois d'automne, de printemps et d'été qui indiquent une rupture. Les mois de septembre, octobre et novembre, enregistrent une augmentation des températures qui varie respectivement de 1,1°C, 2,1°C et 1,1°C à partir la fin des années 70 et le début des années 80. Au printemps les mois d'avril et mai sont marqués par la même hausse d'environ 1,3°C à partir la décennie 90. Tandis qu'en saison sèche un réchauffement de 2°C est observé en mois de juin à partir de 1996, où les mois de juillet et août indiquent une augmentation de presque 1,2°C à partir de 1979 et 1985. Nous pouvons constater que le mois de juillet présente la même tendance qu'à l'échelle annuelle.

Tableau 4.12. Résultats du test de pettitt appliqué aux températures minimales à l'échelle mensuelle.

Mois	Jan.	fév.	mars.	avr.	mai.	juin.	juill.	aout.	sept.	oct.	nov.	déc.
Alger												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	1981	1985	1985	1985	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-	1,3	1,5	0,9	1,1	-	-
Oran												
Date de rupture	-	-	1988	1994	1991	1994	1986	1985	1981	1984	-	-
Différence°C	-	-	0,7	1,0	1,2	1,6	1,3	1,4	1,1	1,3	-	-
Constantine												
Date de rupture	-	1965	1985	1980	1980	1980	1981	1981	1985	1985	1981	-
Différence°C	-	1,4	1,0	1,4	1,5	1,7	2,0	1,7	1,3	1,9	1,4	-
Sétif												
Date de rupture	-	2004	-	-	-	-	-	-	2007	-	2007	2006
Différence°C	-	-1,6	-	-	-	-	-	-	-1,1	-	-1,3	-1,4
Mascara												
Date de rupture	-	-	1989	2005	1996	1998	1997	1985	1996	1998	-	-
Différence°C	-	-	1,3	1,7	2,0	2,2	1,9	3,0	1,9	2,1	-	-
Tiaret												
Date de rupture	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Différence°C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Annaba												
Date de rupture	-	-	1985	1980	1985	1987	1981	1981	1985	1985	1981	-
Différence°C	-	-	0,6	0,9	0,9	0,9	1,3	1,0	0,8	1,6	1,4	-
Chélif												
Date de rupture	-	-	1992	1986	1991	1992	1992	1985	1996	1985	1982	1988
Différence°C	-	-	1,4	0,9	1,4	1,7	1,6	1,9	1,7	2,0	1,4	1,2

Tableau 4.13. Résultats du test pettitt appliqué aux températures maximales à l'échelle mensuelle

Mois	Jan.	fév.	mars.	avr.	mai.	juin.	juill.	aout.	sept.	oct.	nov.	déc.
Alger												
Date de rupture	-	-	1986	1982	1992	1984	1981	1985	1982	1984	-	1975
Différence°C	-	-	0,9	1,4	1,6	2,1	1,7	1,8	0,9	2,1	-	1,0
Oran												
Date de rupture	1994	-	1986	1991	1993	1995	1997	1985	-	1996	-	1975
Différence°C	0,9	-	0,9	1,5	1,0	1,7	1,3	0,9	-	1,7	-	1,0
Constantine												
Date de rupture	-	-	-	1997	1993	1996	1997	1985	-	1986	-	-
Différence°C	-	-	-	2,0	2,2	2,6	1,7	1,2	-	2,3	-	-
Sétif												
Date de rupture	2007	-	1996	2005	-	1996	2002	2007	-	2000	-	-
Différence°C	-	-	2,0	1,8	-	1,8	1,6	1,7	-	2,6	-	-
Mascara												
Date de rupture	-	-	-	1998	1998	1997	2002	2007	-	2000	-	-
Différence°C	-	-	-	2,0	2,3	2,4	1,4	1,8	-	2,5	-	-
Tiaret												
Date de rupture	-	-	1996	1998	-	1997	2002	1998	-	2000	-	-
Différence°C	-	-	2,0	2,2	-	2,5	1,8	1,3	-	3,0	-	-
Annaba												
Date de rupture	-	-	-	1996	1992	1996	1981	1985	1979	1984	1982	-
Différence°C	-	-	-	1,3	1,3	2,0	1,3	1,2	1,0	2,1	1,1	-
Chélif												
Date de rupture	-	-	1986	1994	1991	1997	-	1985	-	1996	-	1973
Différence°C	-	-	1,2	1,6	1,4	2,3	-	1,1	-	2,4	-	1,1

Conclusion

L'analyse de la tendance des séries annuelles des pluies par la courbe de tendance montre une diminution des pluies à partir des années 70, la moyenne mobile pour une période de 10 ans révèle que ce sont les décennies 80 et 90 qui sont déficitaires excepté la région des hauts plateaux. Le test de Pettitt quant à lui, indique une diminution dans la région Nord-Ouest. L'application de la méthode de seuillage sur les pluies extrêmes a fait ressortir la réduction du nombre d'évènement pour les tranches 5mm à 50mm.

L'analyse des températures moyennes annuelles par régression linéaire révèle une augmentation à partir de la moitié des années 70. Le test de Pettitt, indique une augmentation de plus de 0,5°C à partir des années 80. La tendance des températures minimales et maximales mensuelles suit dans l'ensemble la tendance des températures annuelles. À l'échelle saisonnière, il apparait que ce sont les mois d'été qui influent sur la variation annuelle des températures. En ce qui concerne les températures extrêmes, les tests de rupture montrent une augmentation des températures maximales et minimales d'environ 1°C entre les années 80 et les années 90.

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons effectué une analyse de l'évolution du climat du Nord de l'Algérie à travers deux paramètres importants; les précipitations, les températures et les extrêmes sur une période d'observations de soixante-huit ans (1950-2017).

Pour ce faire, nous avons défini une méthodologie pour chaque paramètre (pluie et température). Nous avons utilisé les tests de rupture de Pettitt et Man-Kendall pour étudier leurs variabilités annuelles et mensuelles dans le but de rechercher une tendance ou un changement dans les séries temporelles des précipitations et des températures. L'indice pluviométrique a été ensuite utilisé pour définir les années sèches et humides ainsi que leur degré de sévérité. La méthode de seuillage a été utilisée pour l'étude de l'évolution des pluies journalières.

L'analyse du régime pluviométrique par les tests de rupture a révélé une tendance à la baisse des précipitations, observée entre la moitié des années 70 et début des années 80. Par contre, cette baisse n'est pas généralisée sur toute la zone d'étude; à l'Est et au centre aucune rupture du régime pluviométrique n'est observée, tandis qu'à l'ouest une baisse importante des précipitations est enregistrée et qui dépasse le plus souvent 30%.

À l'échelle mensuelle, la rupture est importante en mois d'été. Tandis qu'elle n'apparaît que pour une station en mois automne, et une station Ouest au printemps. En hiver, ce sont les stations côtières Ouest qui indiquent une tendance à la baisse, mais cette baisse n'a aucun effet sur les pluies annuelles.

L'indice pluviométrique standardisé (SPI) a permis de ressortir trois périodes bien définies ; une période excédentaire entre 1951 et 1975, une période déficitaire entre 1976 et 2003 et une période entre 2004 et 2016 caractérisée par un léger retour vers les conditions pluvieuses au Centre et à l'Ouest.

L'analyse des pluies journalières par la méthode de seuillage, a montré en générale une réduction du nombre de jours de pluies de 5 à 50mm au mois de décembre ce qui explique la baisse de la pluviométrie moyenne entre les années 80 et 90.

Ceci veut dire que les extrêmes de pluies caractérisés par le seuil 100mm n'ont pas connu de changement significatif au cours des 30 dernières années.

L'analyse des températures annuelles par le test de Pettitt indique une tendance à l'augmentation à partir des années 80. Cette augmentation varie entre 0,7°C et 1°C. Les températures minimales et maximales annuelles suivent aussi la même tendance. À l'échelle

mensuelle, ce sont les mois d'automne, printemps et été qui présente une augmentation importante des températures et influent sur la variation annuelle.

L'analyse des tendances du régime climatique du Nord Algérien au cours de la période 1950-2017 montre une réduction des précipitations et une augmentation des températures à partir de la moitié des années 1970.

La variabilité interannuelle des précipitations au Nord de l'Algérie peut être expliquée, d'une part, par la circulation atmosphérique. Effectivement la variation de l'oscillation nord atlantique a connu une phase positive depuis 1980 et persiste jusqu'à la fin des années 90, qui a provoqué une augmentation des températures et des sécheresses sur l'Afrique du Nord, ce qui explique la diminution importante de la pluviométrie sur la partie Nord-Ouest de l'Algérie. Cela coïncide avec les résultats des tendances trouvées dans la présente étude. Ces résultats sont cohérent avec plusieurs autres études (Xoplaki E, 2004 ; Meddi M., 2010 ; Khaldi A, 2005, Norrant C, 2006). Le phénomène El Nino aussi influence la variabilité climatique globale quand il enregistre de fortes anomalies. Ce phénomène a connu une phase chaude importante depuis la moitié des années 70 ce qui a provoqué la baisse de la pluviométrie dans le bassin méditerranéen. Toutefois, le GIEC (2013) explique cette tendance par l'émission des gaz à effet de serre qui a commencé à croître à partir des années 50 et prédit une augmentation de la température de plus de 4°C jusqu'à 2100.

Ces résultats peuvent contribuer à la mise en place d'un outil de planification et de gestion des ressources en eau pour faire face à l'impact des changements climatiques futures et prendre des mesures d'adaptation pour maintenir la durabilité des ressources en eau et des différentes activités (agricoles et autres) dans les régions les plus vulnérables.

Afin d'améliorer les résultats obtenus par la présente étude, nous proposons quelques recommandations. Il s'agit principalement de la densification du réseau d'observation particulièrement pour l'étude des pluies extrêmes ainsi que l'analyse des corrélations entre les variables climatiques étudiées et les indices climatiques pour apporter des réponses aux changements observés du climat.

Références bibliographiques

- **Acero F J., Garcia J A., Gallego M C., 2011.** Peaks-over-Threshold Study of Trends in Extreme Rainfall over the Iberian Peninsula, p.1089-1105.
- **Ageena I., Macdonald N., Morse A.P., 2012.** Variabilité de la température minimale en Libye (1945-2009), n.3, p.641-653.
- **Agence Nationale de gestion intégrée des Ressources en Eau., 2017.** La Région Hydrographique Oranie - Chott Chergui [en ligne], (Consulté le 21/05/2018). Disponible sur le site : (<http://www.abhoranie.dz/Bassins.html>).
- **Agence Nationale de gestion intégrée des Ressources en Eau., 2017.** Agence du Bassin Hydrographique Cheliff-Zahrez [en ligne], (Consulté le 21/05/2018). Disponible sur le site : (<http://www.abh-cz.com.dz/>).
- **Agence Nationale de gestion intégrée des Ressources en Eau., 2017.** Agence du Bassin Hydrographique Algérois-Hodna-Soummam [en ligne], (Consulté le 22/05/2018). Disponible sur le site : (<http://www.abhahs-dz.com/>).
- **Agence Nationale de gestion intégrée des Ressources en Eau., 2017.** Agence du Bassin Hydrographique Constantinois-Seybousse-Mellegue [en ligne], (Consulté le 24/05/2018). Disponible sur le site : (<http://www.abhcsm.dz/>).
- **Agence Nationale des Ressources Hydrauliques., 2009,** Réalisation de carte des ressources en eau souterraines du Nord de l'Algérie, 158p.
- **Algérie, 2017.** Situation géographique et démo linguistique [en ligne]. (Consulté le 03/05/2018). Disponible sur le site : <http://www.axl.cefan.ulaval.ca/afrique/algérie-1demo.htm>
- **Algérie., 2014.** Région hydrographique [en ligne], (Consulté le 21/05/2018). Disponible sur le site : (www.google.com/search?q=région+hydrographique+algérie).
- **Amyay M., Nouaceur Z., Tribak A., Obda Kh. et Taous A., 2012.** Caractérisation des événements pluviométriques extrêmes dans le Moyen Atlas et ses marges. In : Actes du 25ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Grenoble), p. 75-80.
- **ANRH., 2009.** Impact des changements climatiques sur les ressources en eaux. Note de synthèse, 12p.
- **Arnell N W., 1999.** Climate Change and Global Water Resources, Global Environ. N.9, p. 31-49.
- **Bargaoui Z., Tramblay Y., Lawin A.E., Servat E., 2013.** Variabilité saisonnière des précipitations dans les simulations climatiques régionales sur les bassins du Nord de la Tunisie, n.1, p. 235-248.
- **Bartolini G., Vallorani R., Betti G., Crisci A., Gozzini B., Grifoni D., Iannuccilli M., 2017.** Classification des types de circulation pour la stratification des températures et des précipitations en Italie, n.2, p. 915-931.
- **Belarbi F., 2010.** Etude de la pluviométrie journalière dans le bassin versant de la TAFNA. Mémoire de fin d'étude, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 68p.

- **BenBoubaker H., 2006.** Évaluation des systèmes d'Alerte Précoce à la Sécheresse en Tunisie (SAPS), Projet LIFE05TCY/TN/000-150, Rapport de l'Étude N°1/5919/CNT/24/11/2006.
- **Benyettou M A., 2017.** Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie. Mémoire de fin d'étude, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, 18p.
- **Brandimarte L., Di Baldassarre G., Bruni G., D'Odorico P., Montanari A., 2011.** Relation between the north-atlantic oscillation and hydroclimatic conditions in mediterranean areas. *Water resour manage*, n.25, p. 1269-1279.
- **Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., 2001.** Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy. *Int. J. Climatol.*, 21, p.861–871
- **Bullet C., 2008.** Changement climatiques et usage en eau dans le bassin Méditerranéen : Impacts et Adaptations.
- **CNRS., 2009.** Quand les nuages déplacent les montagnes [en ligne], (Consulté le 27/05/2018). Disponible sur le site : (<http://www.insu.cnrs.fr/terre-solide/terre-et-environnement/quand-les-nuages-deplacent-les-montagnes>)
- **Driouech F., 2008.** Variabilité et changements climatiques au Maroc Observations et projections.
- **El-Meddahi Y., 2009.** Contribution à l'étude hydrogéologique des réservoirs aquifères du bassin du moyen Cheliff .Th ; Magister. Université de Chleff, 137p.
- **El-Meddahi Y., 2016.** Les changements climatiques et leurs impacts sur les ressources en eau, cas du bassin du Cheliff. Thèse de doctorat, Université Hasiba Ben Bouali- Chleff, 107p.
- **ETTCDL., 2017.** WCRP Grand Challenges in Climate Extremes, NASA Jet Propulsion Laboratory,
- California Institute of Technology, Pasadena, California, 25p.
- **Faye C., Sow A.A., Ndong J B., 2015.** Étude des sècheresses pluviométriques et hydrologiques en Afrique tropicale : caractérisation et cartographie de la sécheresse par indices dans le haut bassin du fleuve Sénégal, n.9, p.17-35.
- **Filahi S., Mouhir L., Tanarhte M., Tramblay Y., 2015.** Tendence et variabilité des évènements extrêmes au Maroc, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, p.463-468.
- **Géographie de l'Algérie, 2017.** Relief [en ligne], (Consulté le 11/05/2018). Disponible sur le site : (https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9ographie_de_l%27Alg%C3%A9rie).
- **Ghenim A N., Megnounif A., 2011.** Caractérisation de la sécheresse par les indices SPI et SSFI (Nord-Ouest de l'Algérie), n.18, p.59-77.
- **GIEC., 2001.** Bilan 2001des changements climatiques : les éléments scientifiques, Rapport de synthèse, n.3, 97p.

- **GIEC., 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse n.4, 114p.
- **GIEC., 2013.** Bilan 2013 des changements climatiques. Rapport de synthèse n.5, 27p.
- **Gonzalez-Hidalgo J.C., Angulo D.P., Brunetti M., Cortesi N., 2015.** Tendence récente de l'évolution de la température en Espagne continentale (1951-2010): du réchauffement au hiatus, n.6, p. 2405-2416.
- **Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lo K., Lea D W., Medina-Elizade M., (2006).** Global Temperature Change, PNAS, n.103, p.14288–14293.
- **Kioutsoukis I., Melas D., and Zerefos C., 2010.** Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002). Int. J. Climatol, n.30, p.1723–1737
- **Klein T., 2009.** Comparaison des sécheresses estivales de 1976 et 2003 en Europe occidentale à l'aide d'indices climatiques, n.53, p.75-86.
- **Kosanic A., Harrison S., Anderson K., Kavcic I., (2014).** Present and Historical Climate Variability in South West England. Climatic Change, n.124, p.221–237.
- **Le Monde, 2005.** Amériques [en ligne], (Consulté le 18/04/2018). Disponible sur le site : https://www.lemonde.fr/ameriques/article/2005/08/31/l-ouragan-katrina-a-fait-des-centaines-de-morts-et-inonde-la-nouvelle-orleans_684015_3222.html.
- **Lopez J. et Frances F., 2010.** Influence of the North Atlantic Oscillation and the western mediterranean oscillation in the maximum flow events in Spain. International workshop advances in statistical hydrology, may 23-25, 2010 Taormina, Italy.
- **Madani D., 2008.** Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique. Mémoire de magister, Université de Batna, 6p.
- **Mamara A., Argiriou A.A., Anadranistakis M., 2012.** Homogénéisation des séries temporelles moyennes de températures mensuelles de la Grèce, n.12, p. 2649-2666.
- **Meddi M., Hubert P., 2003.** Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie, n.278, p.229-235.
- **Meddi M., Talia A., Martin C., 2009.** Evolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). Physio-Géo Géographie Physique et Environnement III, p.61-84.
- **Meddi M., Taibi S., Mahé G., 2010.** Influence des indices climatiques sur la variabilité des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, Blida, Algérie.
- **Medjerab A., Aziz A., 2015.** Les Situations Météorologiques Extrêmes, Signe d'un éventuel changement climatique : Cas des vagues de froid sur le Nord de l'Algérie, XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, p.415-420.
- **Météo France, 2009.** Bulletins climatiques [en ligne]. (Consulté le 04/04/2018). Disponible sur le site : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/bilans-climatiques/autres-annees/bilan-de-lannee-2009>.

- **Ministère de l'Aménagement du Territoire Et de l'Environnement., 2014.** Schéma d'Aménagement de l'Espace de Programmation Territoriale Des Hauts plateaux Est, 7p.
- **Mourato S., Moreira M., Corte-Real J., 2009.** Variabilité interannuelle des régimes de distribution des précipitations dans le sud du Portugal, n.12, p. 1784-1794.
- **Norrant C. et Douguédroit A., 2006.** Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). Theor. Appl. Climatol. 83, p.89-106
- **OMM., 2016.** Guidelines On The Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events, 44p.
- **Penalba J P., 2007.** L'Algérie : Situation et vue d'ensemble.
- **Philandras C.M., Nastos P. T., Kapsomenakis J., Douvis K. C., Tselioudis G., Zerefos C. S., 2011.** Tendances des précipitations à long terme et variabilité au sein de la région méditerranéenne, n.11, p. 32-35.
- **Philips A., 2017.** Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index, National Center For Atmospheric Research Staff (EDS). Disponible sur le site: (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>)
- **Pnevmatikos J.D., B. D. Katsoulis., 2006.** Le régime changeant des précipitations en Grèce et son impact sur les moyens climatologiques, n.4, p. 331-345.
- **PNUE, 2004.** L'eau des Méditerranéens : Situation et perspectives, n.158.
- **Prigent E., Tarraire J., 2007.** Géographie de l'Afrique du nord, p.3-5.
- **Ragab R., Prudhomme C., 2002.** Climate change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and challenges for the 21st Century, n.81, p.3-34.
- **Remini B., 2010.** La Problématique de l'Eau en Algérie du Nord, n.8, p. 27-46.
- **Ropelewski C., Halpert M., 1996.** Quantifying Southern-Oscillation precipitation relationships. Climate Prediction Center, NCEP/NWS/NOA, n.9, p.1043-1059
- **Salameh T., 2008.** Modélisation multi-échelles de la circulation atmosphérique hivernale sur le bassin méditerranéen : rôle des interactions d'échelles. Thèse de doctorat, école polytechnique, France, 156p.
- **Sinoga J.D.R., Marin R.G., Murillo J.F.M., Galeote M.A.G., 2010.** Dynamique des précipitations dans le sud de l'Espagne: tendances et cycles, n.15, p. 2281-2289.
- **Solman S A., 2013.** Regional climate modeling over South America: a review. Advances in Meteorology, p.1-13.
- **Taïbi S., Meddi M., Souag D., Mahe G., 2013.** Evolution et régionalisation des précipitations au nord de l'Algérie (1936–2009), p. 191-197.
- **Taïbi S., 2016.** Influence de la circulation atmosphérique générale sur les précipitations du Nord de l'Algérie. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieur d'Hydraulique, Blida, 48p.

- **Taibi S., Meddi M., Mahé G., 2017.** Evolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chélif (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971–2010, n.369, p.175–180.
- **Toros H., 2011.** Variation spatio-temporelle des températures extrêmes quotidiennes en Turquie, n.7, p.1047-1055.
- **Taibi., 2017.** Analyse et modélisation hydrologique, Cours de Master 1, Université de Blida 1.
- **Touazi M., 2001.** Évaluation des ressources en eau et acquisition de bases de données à références spatiales et temporelles en Algérie du Nord. Thèse de Doctorat, Univ. Nice Sophia-Antipolis, France, 310 p.
- **Touazi M., Bhiry N., Laborde J P., Achour F., 2010.** Régionalisation des débits moyens mensuels en Algérie du nord, Revue des sciences de l'eau, n.2, p.177-191.
- **Tramblay Y., Badi W., Driouech F., El Adlouni S., Neppel L., Servat E., 2012.** Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco, Global Planet Change, n.82–83, p.104–114.
- **Tramblay Y., El Adlouni S., Servat E., 2013.** Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries, n.13, p.3235-3248.
- **Trenberth K., Kevin., 2016.** Nino SST Indices, National Center For Atmospheric Research Staff (EDS). Disponible sur le site: (<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/nino-sst-indices-nino-12-3-34-4-oni-and-tni>)
- **TT-DEWCE., 2016.** Guidelines On The Definition and Monitoring of Extreme Weather and Climate Events, 44p.
- **Xoplaki E., Luterbacher J., Patrikas J., Maheras P., 2000.** Les précipitations hivernales en Grèce et leurs relations avec la circulation atmosphérique au niveau de 500 hPa. Climate Research, v.14, p129-146.
- **Xoplaki E., Gonzalez-Rouco J.F., Luterbacher J., Wanner H., 2004.** Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends. Climate dynamics, n.23, p63-78.