

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعد دحلب – البليدة 1-



Université SAAD DAHLEB -BLIDA 1-



Faculté de Technologie

Département des sciences de l'Eau et Environnement

Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en hydraulique

Option : Ressources Hydraulique

Thème :

Variabilité des précipitations et des températures au Nord de l'Algérie

Présenté par : **CHIHEB ASMA**

Devant le jury :

- **M. BOUZERIA H.....Président**
- **M. MERABTI A.....Examineur**
- **Dr. TAIBI-FEDDAL S.....Promotrice**

Année universitaire 2021/2022

Résumé

ملخص

في الجزائر، كان للظروف المناخية التي سادت ثلاثة عقود تأثير سلبي على الموارد المائية. الغرض من هذا العمل هو دراسة تقلبات هطول الأمطار ودرجة الحرارة في شمال الجزائر خلال الفترة 1950-2021. للقيام بذلك، تم استخدام الاختبارات الإحصائية. أظهرت النتائج انخفاضًا في هطول الأمطار بين نهاية السبعينيات وبداية الثمانينيات، مع زيادة في درجات الحرارة الشهرية بشكل رئيسي بين مارس وأكتوبر والتي غالبًا ما تتجاوز 1 درجة مئوية

الكلمات المفتاحية: هطول الأمطار، درجة الحرارة، الاختبارات الإحصائية، تقلب المناخ

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 la variabilité des précipitations et températures au nord de l'Algérie au cours de la période 1950-2021. Pour ce faire, des tests statistiques ont été utilisés. Les résultats ont montré une baisse des précipitations entre la fin des années 70 et début des années 80 et une hausse des températures mensuelles principalement entre Mars et octobre qui dépasse souvent 1°C.

Mots clés : précipitations, températures, tests statistique, variabilité climatique.

Abstract

In Algeria, the climatic conditions that have prevailed for three decades have a negative influence on water resources. The purpose of this work is to study the variability of precipitation and temperature in northern Algeria during the period 1950-2021. To do this, statistical tests were used. The results showed a decrease in precipitation between the end of the 70s and the beginning of the 80s, with an increase in monthly temperatures mainly between March and October, which often exceeds 1°C.

Keywords: precipitation, temperature, statistical tests, climate variability.

Dédicace

Ce projet de fin d'études est dédié :

A la femme qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'études, qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non et qui n'épargne aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Warda.

AU seul homme qui croit en moi, qui dois ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père Mahmoud.

A mes chères frères Amer, Alla et Badri qui n'ont pas cessé de me conseiller et de me protéger. Que Dieu leur offre la chance et le bonheur.

A ma sœur Ines qui est la sœur que je n'ai pas mais Dieu m'a donnée.

A mes chères amis Chaima, Wafa, Youssef et Kaouther qui m'ont toujours encouragé, m'aider et rapporté dans les moments difficiles.

A tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu et toute personne qui occupe une place dans mon cœur. Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Remerciement

Mon remerciement les plus sincères vont à :

A ma famille

J'exprime tous mon remerciement chaleureux à ma famille qui m'ont toujours supportée et pour m'avoir permis de poursuivre mes études dans les meilleures conditions.

Votre présence et votre encouragement sont pour moi les piliers fondateurs de ce que je suis et de ce que je fais.

« Que Dieu vous protège et vous prête bonne santé et longue vie »

Aux membres de jury

Je tiens à remercier Dr. Taïbi – Feddal S de m'avoir encadré

Les membres de jury M. BOUZERIA H et M. MERABTI A qui ont accepté d'examiner mon travail.

Sommaire

<i>Résumé</i>	<i>I</i>
<i>Dédicace</i>	<i>II</i>
<i>Remerciement</i>	<i>III</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>IV</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>V</i>
<i>Introduction générale</i>	<i>2</i>
<i>Chapitre I : Synthèse bibliographique</i>	<i>5</i>
<i>Partie 1 : variabilité climatiques</i>	<i>5</i>
I.1.1. Évolution des précipitations et températures	5
<i>Partie 2 : méthodes d'analyse de la variabilité climatique</i>	<i>11</i>
I.1. Définitions de la variabilité climatique	11
I.2.1. Analyse de tendance.....	11
1.2.2. Méthode de détection de rupture.....	11
<i>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</i>	<i>14</i>
II.1. Position géographique de la zone d'étude	14
II.2. Relief	15
II.3. Climat	17
II.4. Ressources en eau	18
<i>Chapitre III: Matériels et Méthodes</i>	<i>21</i>
III.1. Matériels	21
III.2. Méthodes	22
III.2.1. Test de Mann-Kendall pour la tendance monotone.....	22
III.2.2. Test de Pettitt (1979).....	23

<i>Chapitre IV : Résultats et interprétation</i>	26
IV.1. Analyse de la variabilité pluviométrique	26
IV.1.1. Évolution temporelle des précipitations	26
IV.1.2. Détection de tendance pluviométrique selon Mann-Kendall	34
IV.1.3. Détection de rupture selon le test de Pettitt	36
IV.2. Analyse de la variabilité des températures	39
IV.2.1. Évolution temporelle des températures	39
IV.2.2. Détection de la tendance des températures	41
IV.2.3. Détection de rupture selon le test de Pettitt	42
<i>Conclusion générale</i>	46
<i>Bibliographie</i>	48

Liste des figures

<i>Figure</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Figure II.1	Carte de l'Algérie.	15
Figure II.2	Principaux reliefs d'Algérie.	16
Figure II.3	Carte pluviométrique de l'Algérie (moyenne des précipitations annuelles sur la période 1986-2005 - site de l'INSID).	17
Figure II.4	Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord (El-Meddahi, 2010).	19
Figure IV.1	L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période d'étude à Alger, Oran et à Sidi Bel Abbess.	27
Figure IV.2	L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période d'étude à Chleff, Tiaret et a Mascara.	29
Figure IV.3	L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période d'étude à Annaba et Constantine.	30
Figure IV.4	Évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours de la période d'étude pour les stations de Constantine et Annaba.	31
Figure IV.5	Évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours de la période d'étude pour les stations de Tiaret, Chleff et Alger.	32
Figure IV.6	Évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours de la période d'étude pour les stations de Mascara, sidi bel Abbess et Oran.	33
Figure IV.7	Évolution temporelle des températures.	40

Liste des tableaux

<i>Tableau</i>	<i>Titre</i>	<i>Page</i>
Tableau II.1	Nombre de barrages et la capacité initiale.	18
Tableau II.2	Répartition des petits barrages dans l'Algérie du nord.	18
Tableau II.3	Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du Nord.	19
Tableau III.1	Caractéristiques géographiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.	21
Tableau IV.1	Tableau de la pente de sen des données des précipitations.	34
Tableau.IV.2	Tableau de Résultat de test d'homogénéité de Pettit sur les données des précipitations.	37
Tableau IV.3	Tableau de la pente de sen des données des températures.	42
Tableau IV.4	Tableau de Résultat de test d'homogénéité de Pettit sur les données des températures.	44

Introduction Générale



Introduction générale

Les changements climatiques auxquels le monde est confronté aujourd'hui constituent un défi majeur en raison de l'augmentation des températures moyennes et l'altération du régime pluviométrique, ce qui a provoqué des changements radicaux dans l'environnement.

Depuis 1988, le groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) évalue l'état des connaissances sur l'évolution du climat mondial, ses impacts et les moyens de les atténuer et de s'y adapter. Le GIEC a publié son 6eme rapport (AR6) en 2019. Il montre que le changement climatique est déjà engagé, la température moyenne planétaire a progressé de 0,74 °C par rapport à la moyenne du XXe siècle et elle pourrait augmenter de 1,3 à 5,3 °C d'ici la fin du XXIe siècle.

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 intense et persistante au cours de la période 1975-2000. Cette sécheresse, caractérisée par un important déficit pluviométrique, a touché l'ensemble de l'Algérie et plus particulièrement sa partie Nord-ouest.

Les températures ont également augmenté dans les différentes régions de l'Algérie de presque 1°C à l'échelle annuelle et peut dépasser les 2°C à l'échelle mensuelle (zeroual et al., 2017 ; Taibi et al., 2022)

C'est dans ce contexte que nous avons mené ce travail dans le but d'analyser la variabilité des précipitations et des températures dans différentes régions du Nord de l'Algérie. Il faut dire que ce travail est un complément aux nombreuses études déjà réalisées dans ce sens à travers l'actualisation des données jusqu'à 2021.

Ce travail s'organise autour de quatre chapitres :

Le premier chapitre est divisé en deux parties, une concerne une synthèse bibliographique sur l'évolution des précipitations et des températures dans la région méditerranéenne, l'autre s'intéresse aux méthodes d'analyse de la variabilité climatique.

Le deuxième 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 de la variabilité des pluies et des 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 la période d'étude.

Chapitre I

Synthèse bibliographique



Chapitre I

Synthèse bibliographique

Partie 1 : variabilité climatique

I.1.1. Évolution des précipitations et températures

Les pays du bassin méditerranéen sont particulièrement affectés par le changement climatique causés par les effets combinés des modifications de l'utilisation des sols, de l'augmentation de la pollution et de la dégradation de la biodiversité qui menacent les ressources en eau, les écosystèmes, la nourriture, la santé et la sécurité avec une augmentation des températures supérieures à la moyenne.

De nombreuses études se sont intéressées à l'évolution temporelle de précipitation et de température dans les différents pays de la méditerranée, la majorité de ces études ont noté une baisse des précipitations et une hausse des températures observées depuis les années 1970. L'étude menée par **Raymond et al. (2016)** a montré qu'à l'échelle du bassin méditerranéen au cours de la période 1950-2013, une baisse des totaux annuels ainsi qu'une baisse du nombre de jours de pluie comprise entre 0.04% à 0.2%.

En Grèce, l'analyse du régime pluviométrique au cours de la période 1940-2002 a montré une tendance à la baisse depuis 1950, dans la plupart des régions de ce pays (**Markonis et al. 2017**). D'autre part les travaux de **Tolika K. (2018)** ont indiqué aussi que les pluies annuelles observées au cours de la période allant de 1958 à 2000, se caractérise par une concentration modérée au Nord de la Grèce qui diminue en se déplaçant a été identifiée. Toutes les autres saisons ont une prédominance tendances à la hausse dans toutes vers le sud du pays. En outre, le Nord de la Grèce a connu une augmentation significative de la température moyenne annuelle allant de 1,6°C à 15,8°C observée au cours de la période 1984-2018. (**Drogoudi et al. 2020**).

L'analyse du régime climatique en Turquie menée par **Sinan J et al. (2018)** durant la période 1901-2014 a mis en évidence des tendances à la hausse insignifiante des précipitations dans toutes les régions du pays, sauf le sud-est de l'Anatolie, où une tendance à la baisse a été observée, elle a aussi connu un renforcement de chaleur enregistré en milieu urbain qui atteint des valeurs de 1,74°C et 2,61°C à Istanbul sur une période 1960-2012 (**Unal et al. 2020**).

Hadi and Tombul (2018) ont également analysé les précipitations en Turquie et ont trouvé que les régions du sud-est de l'Anatolie et de la Méditerranée sont caractérisées par des tendances décroissantes. Concernant les températures annuelles ; l'ensemble des régions de la



Turquie enregistrent une tendance à la hausse. A l'échelle saisonnière ; il apparait en générale que l'hiver enregistre une diminution des précipitations ; tandis que l'ensemble des saisons indiquent une hausse des températures pour l'ensemble de la Turquie.

Une analyse des tendances à long terme des précipitations en Europe et dans le bassin méditerranéen a été établie par **(Caloiero et al., 2018b)** et ils ont trouvé une tendance pluviométrique négative prédominante à l'échelle annuelle, principalement dans le bassin méditerranéen, alors qu'une tendance positive a été observée dans le centre-nord de l'Europe. En hiver, un pourcentage similaire de points de grille, qui montraient une tendance négative ou positive, a été détecté. Pour ce qui est de la pluviométrie annuelle, la plus forte tendance négative observée en hiver a concerné le bassin méditerranéen. À l'échelle mensuelle, un pourcentage prédominant de points de grille montrant une tendance positive, en décembre et un pourcentage plus élevé de points de grille négatifs en février a été identifiée. Au printemps, la majorité des points de la grille affichaient une tendance négative. Ce comportement tendanciel s'est confirmé à l'échelle mensuelle et concernait certaines zones du bassin méditerranéen. Pendant l'été, et en particulier en juillet, une tendance négative a été observée, qui concerne principalement les régions d'Afrique du Nord et la partie orientale du bassin méditerranéen. En automne, comme en hiver, le pourcentage de points de grille qui témoignait d'une tendance négative ou positive était tout à fait similaire. A l'échelle mensuelle, ce comportement tendanciel se confirme seulement en novembre, tandis qu'en septembre et en octobre une tendance positive marquée a été observée.

Nashwan et al. (2019) ont trouvé que les températures minimales, en particulier en hiver en Egypte ont rapidement augmenté. Aussi, une augmentation de la température maximale annuelle et estivale a été observée principalement dans le désert situé à l'ouest et à l'est de l'Égypte, tandis que presque aucun changement de la température maximale hivernale n'a été observé en Égypte, sauf dans certains endroits à l'ouest.

En Tunisie, l'analyse temporelle de l'évolution des précipitations annuelles au cours de la période 1970-2011 pour 13 stations pluviométriques appartenant au bassin de Bizerte-Ichkeul (Tunisie) a permis d'identifier trois périodes différentes : (1970–1976), (1977-2001) et (2002-2011). La période (1970-1976) est considérée comme normale à humide. La période (1977-2001) se caractérise par des années sèches (1987, 1988, 1993, 1994, 1996, 1999 et 2001) marquées par un sévère déficit pluviométrique. Cependant, l'intervalle (2002-2011) se caractérise par une augmentation des pluies humides ou très les années humides et les années normales. **(Jemai et al., 2018a)**



L'étude réalisée par **(Zeleňáková et al., 2022a)** sur les tendances des précipitations en Syrie au cours de la période (1991–2009) a montré qu'en saison des pluies (octobre à janvier), les précipitations présentent une tendance décroissante, tandis qu'en saison sèche (février-mai), les précipitations ont tendance à augmenter.

A l'échelle mensuelle, les mois de septembre et octobre enregistrent une tendance à la hausse alors que le mois Novembre enregistre une tendance à la baisse pour la plupart des stations étudiées. En hiver, une tendance à la baisse est observée aux mois de décembre et janvier contrairement au mois de février qui montre une tendance positive. Au printemps, une tendance négative est observée en Mars et mai alors que le mois d'avril indique une tendance à la hausse.

(Doko et al., 2021) ont analysé la variabilité climatique des précipitations et températures en Albanie. Les résultats ont mis en évidence une augmentation des températures moyennes et maximales, alors que les températures minimales ne montrent pas de tendance croissante. Concernant l'évolution des précipitations les résultats ont montré une tendance à la baisse, par contre le caractère saisonnier est devenu plus intense au cours des dernières années.

L'étude de la variabilité climatique en Algérie a fait l'objet de différentes études particulièrement en ce qui concerne les précipitations

Une étude récente réalisée par **Achite et Caloiero (2021)**, dans le bassin de Oued Sly (Chleff, Algérie) de la période 1968–2018 a mis en évidence une tendance négative des précipitations à l'échelle annuelle et saisonnière particulièrement en hiver et au printemps. A l'inverse, une tendance positive a été détectée en été et en automne.

Au sujet d'éventuelles sécheresses, la station de Khenchla peut être considéré comme un lieu potentiel de sécheresse et de sécheresse conditions à l'avenir. El Taref, Béjaïa, Souk Ahras, Batna, et M'Sila présentent une tendance à la hausse de leurs faibles valeurs de données ce qui devrait alternativement signifier qu'ils sont sans danger contre la sécheresse effets des sorts et de la sécheresse. Enfin, Jijel ne montre aucune attente pour un événement de sécheresse. L'interprétation globale à des quantités de précipitations "élevées" possibilités d'occurrence à de nombreuses stations : Extrêmement élevé les tendances pluviométriques dominant aux stations d'El Taref, Jijel et Bejaia. Les quantités de précipitations « élevées » de la station de Constantine sont en forme de tendance décroissante sans danger d'inondation. Skikda, Souk Ahras, Tébessa et Khenchla soutiennent l'idée d'inondation. **(Boudiaf, Şen, et Boutaghane 2021)**



La région du bassin côtier de Constantine se caractérise par sa haute altitude qui peut recevoir jusqu'à 1800 mm par an cette importance dépend des montagnes de Kabylie orientale avec des sommets à intensifier 1000 m, les chaînes numidiques (Sidi Dris 1364 m), les monts de Constantine (Djebel Ouahche 1281 m). Aussi, une précipitation est en étroite relation avec leur position par rapport aux courants pluvieux mais au contraire dans d'autres stations par exemple Jijel située à une altitude de 6 m reçoit en moyenne une pluie de 920 mm, alors qu'Aïn Roua situé à 1100 m d'altitude ne dépasser 595 mm. (**Mrad et al., 2018**)

Les travaux de **Mrad, et al. (2018)** menés sur les précipitations du bassin constantinois ont mis en évidence une tendance à la hausse dans les deux stations de Ouled Naceur et Aïn Fakroun, alors que Segouene montre des tendances négatives avec Pente de Sen $-0,418$ mm. La statistique du test de Mann-Kendall sur la tendance des totaux du printemps montre une tendance à la hausse pour les stations d'Aïn Djessar (0,358 mm) et Machroha (2,115 mm), ainsi que des tendances à la baisse pour les stations d'Aokas ($-0,431$ mm) ; El Milia ($-2,340$ mm); Aïn Sadjra ($-0,431$ mm) ; Hammamet ($-0,7444$ mm) et Berriche ($-0,592$ mm). Pour les totaux de l'été, ce test montre une tendance à la hausse pour les stations suivantes : Taher (0,134 mm) : Aïn Djassar (0,214 mm) ; Aïn Béida (0.237 mm); Tedjenanat (0,211 mm) ; Souk-Ahras (0.207 mm); Berriche (0,272 mm) et Machroha (0,460 mm). Que les autres stations ne représentent aucune tendance significative.

Une étude saisonnière par (**Bouklikha et al., 2021a**) sur le bassin versant de Tafna a montré tendance à la baisse dans presque toutes les stations en hiver et au printemps saisons. Cependant, les saisons d'automne et d'été ont montré une tendance à la hausse dans la majorité des gares. Enfin, mensuellement l'analyse des tendances indique une diminution dans toutes les stations étudiées février, mars, avril et mai ; ce sont les mois les plus affectées par le changement climatique. On constate le même phénomène pour juin et juillet (82% des stations), et décembre (58% de gares). Le mois de janvier a été caractérisé par une augmentation de tous gares (100%). Septembre, octobre, novembre et août ont une tendance à la hausse plus faible qu'en janvier, avec un stations pourcentage (82 %, 76 %, 76 %, 76 %, 82 %).

Les enregistrements de 28 stations pluviométriques sur l'ensemble du Bassin du Cheliff pour la période de 1959 à 2019 ont été analysés par **Harkat and Kisi (2021)**. Les résultats ont montré que 90 % des stations présente une légère tendance à la baisse et seulement 3 % ont une forte tendance à la baisse observée à l'est du bassin versant du Cheliff.



l'étude menée par **Hallouz et al. (2019)** sur l'analyse de la variabilité spatiale et temporelle des indices de précipitation et de température dans le bassin versant de l'oued Mina dans le Nord-Ouest algérien au cours de la période de 1979 à 2013 a montré une baisse des totaux annuels des pluies observé à partir des années 80.. Puis, à partir de 2005, une tendance à l'augmentation est observée.

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques dans le bassin de l'Algérois (**DRAOUI Amina et ARRADJ Nour El Houda, 2017**), a mis en évidence une diminution générale des cumuls annuels de pluie à partir de 1975

Medjerab (2005) a mené une étude sur la variabilité spatio-temporelle des pluies au Nord-Ouest de l'Algérie sur la période 1940-1990. Le recensement des années sèches ou très sèches de la période d'étude, montre que le plus grand nombre d'années déficitaires a touché les décennies 40 et 80. Les résultats montrent également une persistance des totaux pluviométriques déficitaires sur plusieurs années successives. Entre ces deux grandes décennies de sécheresse, la pluviométrie a été normale ou excédentaire à l'échelle locale. Sept années pluvieuses consécutives ont été enregistrées entre la fin des années quarante et le début des années cinquante. A l'échelle régionale l'année hydrologique la plus sèche depuis 1940 à 1990 correspond à 1982-1983.

L'étude menée par **Meddi et al. (2007)** a montré une rupture dans la décennie 70 (baisse de la pluviométrie) pour la quasi-totalité des 10 postes étudiés. La variabilité interannuelle des pluies augmente lorsque l'on se rapproche des régions arides. Dans cette même étude, l'analyse de la longue série de la station d'Oran (1877-1997) a révélé que la période de déficit la plus sévère s'étale sur une douzaine d'années, de 1977 à 1988 avec un léger excédent durant l'année 1979 et un déficit maximal (-213,6 mm) enregistré durant l'année 1922. Toujours pour la même station mais pour la période de référence (1950-1987), sur la totalité de la série, 25 années sont déficitaires (52 %), 10 années sont considérées comme modérément sèches et 3 années comme sèches.

Bekkoussa et al. (2008) ont utilisé l'indice pluviométrique pour l'étude de la sécheresse sur la plaine de Ghriss pendant la période 1943-2004. La période 1943-1973 apparaît majoritairement comme excédentaire. L'année 1973 marque le début de la régression des valeurs du module pluviométrique. La pluviométrie est déficitaire dans l'ensemble de la région à partir de 1981 (hormis pour l'année 1995, excédentaire). Durant la période 1981-2004 l'indice pluviométrique atteint les valeurs négatives les plus importantes, ce qui traduit un déficit



important des totaux pluviométriques par rapport à la période de référence (1943-2004). Ce phénomène se prolonge sur plusieurs années successives, ce qui indique une sécheresse importante et persistante.

Taibi *et al.* (2013) ont analysé le régime pluviométrique de 102 séries réparties sur tout le Nord de l'Algérie sur la période 1936–2009. Les résultats ont montré une baisse significative des précipitations à partir de la moitié des années 70 particulièrement dans la région Ouest (déficit pluviométrique entre 16 et 43%) tandis que la partie Est n'a pas connu de changement significatif et indique une augmentation des précipitations à partir de 2002. Deux périodes distinctes sont mises en évidence sur la période de référence (1936-2009) ; une période excédentaire (1936-1975) et une période déficitaire (1975-2009) et les décennies 80 et 90 étaient les plus déficitaires.



Partie 2 : méthodes d'analyse de la variabilité climatique

I.1. Définitions de la variabilité climatique

La variabilité climatique fait référence au paramètre climatique d'une région qui s'écarte de sa moyenne à long terme. Chaque année, à une période donnée, le climat d'un lieu est différent. Certaines années ont des précipitations inférieures à la moyenne, d'autres des précipitations moyennes ou supérieures à la moyenne. (Selvaraju Ramamasy , Stephan Baas 2007)

I.2.1. Analyse de tendance

La détection, l'estimation et la prévision des tendances et la signification statistique et physique associée sont des aspects importants de la recherche sur le climat. Étant donné une série chronologique de données de températures, la tendance est la vitesse à laquelle la température change sur une période de temps. La tendance peut être linéaire ou non linéaire. Cependant, généralement, il est synonyme de la pente linéaire de la ligne ajustée à la série temporelle. La régression linéaire simple est le plus souvent utilisée pour estimer la tendance linéaire (pente) et la signification statistique (via un test Student-t). L'hypothèse nulle n'est pas une tendance (c'est-à-dire un climat inchangé). Le test de Mann-Kendall (M-K) non paramétrique (c'est-à-dire sans distribution) peut également être utilisé pour évaluer la signification d'une tendance monotone (linéaire ou non Le test M-K est souvent combiné avec l'estimation la tendance linéaire par la pente de Sen ^[12]).

I.2.2. Méthode de détection de rupture

Une rupture dans une série de variables aléatoires se définit comme un changement, au cours du temps, de leur loi de probabilité. Il existe plusieurs types de ruptures moins forts que les modifications dans la loi. On pense, entre autres, aux changements dans la moyenne ou dans la variance. (Maryse Champagne, 2009)

- **Test de Pettitt** : Ce test est considéré comme robuste au changement d'une série chronologique et relativement puissant, comparé par exemple au test de Wilcoxon-Mann-Whitney et au test de Mann-Kendal utilisé pour une tendance.
- **Test de Wilcoxon-Mann-Whitney / Mann-Whitney** : C'est un test basé sur le rang, qui recherche les différences entre deux groupes d'échantillons indépendants. Il est basé



sur le test statistique de Mann-Kendall, il est calculé pour les sous-ensembles de la série afin de détecter le point de changement dans la moyenne.

- **Test de Kruskal-Wallis** : Basé sur le rang, il permet de tester si plusieurs échantillons indépendants sont issus de la même population. Ce test peut être perçu comme une généralisation du test de Wilcoxon-Mann-Whitney à plus de deux échantillons.
- **Test t de Student** : C'est un test paramétrique standard pour vérifier si deux échantillons ont des moyennes différentes. Il suppose que les données soient normalement distribuées, pour détecter le point de changement.
- **Test du rapport de vraisemblance de Worsley** : Ce test est similaire au t de Student, mais peut être utilisé lorsque le point de changement est inconnu. Il exige la normalité.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude



Chapitre II

Présentation de la zone d'étude

II.1. Position géographique de la zone d'étude

La zone d'étude se trouve limitée par les parallèles 33° et 37°N et par les longitudes 2° Ouest et 10° Est. La surface totale de cette zone est d'environ 227740 Km². Elle s'étend sur une largeur de 350 Km environ et 1000 Km le long du littoral. Le Maroc et la Tunisie constituent respectivement les limites Ouest et Est, la mer méditerranée constitue la limite Nord et les flancs Sud de l'Atlas saharien la limite Sud.

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.

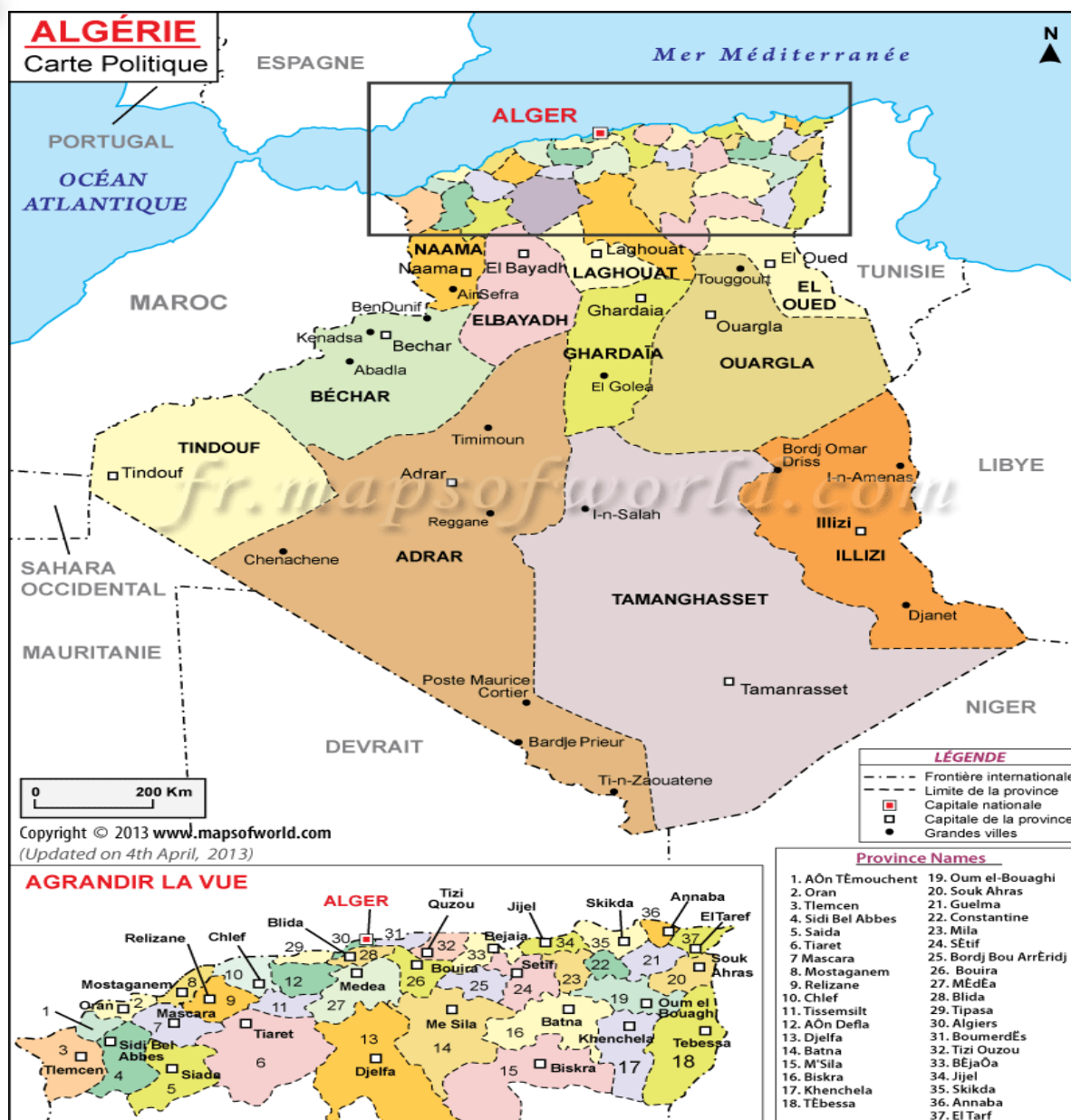


Figure II.1 : Carte de l'Algérie.

(<https://fr.mapsofworld.com/afrique/algerie/>)

II.2. Relief

L'Algérie, est un pays constitué d'une multitude de reliefs. Le nord est sillonné d'ouest en est par une double barrière montagneuse (Atlas tellien et saharien) avec des chaînes telles que le Dahra, l'Ouarsenis, le Hodna, les chaînes de Kabylie (le Djurdjura, les Babors et les Bibans) et l'Aurès.



- le Tell, est un ensemble constitué par une succession de massifs montagneux, côtiers et sublittoraux, et de plaines. Les plaines sont discontinues et de largeur variable (80 km à 190 km). Cette région abrite la grande majorité des terres agricoles du pays. L'Atlas tellien est une chaîne de montagnes qui limitent ses plaines

Au nord, l'Atlas tellien forme avec l'Atlas saharien, plus au sud, deux ensembles de relief parallèles se rapprochant en allant vers l'est, et entre lesquels s'intercalent de vastes plaines et hauts plateaux. Les deux Atlas tendent à se confondre dans l'est de l'Algérie. Vers l'intérieur de l'est algérien les vastes chaînes montagneuses des (Aurès) et des Nemencha (wilaya de Tebessa) occupent la totalité de l'est algérien et elles sont délimitées par la frontière tunisienne. Les Aurès occupent une surface 50 000 km². Le point culminant est le mont Chélia 2 328 mètres d'altitude.

La bande du Tell, large de 80 km à 190 km, s'étend sur près de 1 200 km de côte méditerranéenne. Elle est formée de chaînes de montagnes (l'Ouarsenis, le Chenoua, le Djurdjura, les Babors et les Bibans...) longeant le littoral et souvent séparées par des vallées, riches par leur flore et leur faune, abritant des cours d'eau comme la vallée du Chelif ou la vallée de la Soummam. Le mont Lalla-Khadîdja, en Kabylie où les montagnes sont recouvertes de neige en hiver, en est le point culminant et s'élève à 2 308 mètres d'altitude. Les plaines du Tell abritent avec les vallées adjacentes la grande majorité des terres fertiles du pays. (Wikipédia)



Figure II.2 : Principaux reliefs d'Algérie.

(Source : Wikipédia)



II.3. Climat

Le nord de l'Algérie se trouve dans la zone tempérée et jouit d'un doux climat méditerranéen. Compte tenu de sa topographie, il existe de forts contrastes dans les températures avec des incidences sur la pluviométrie. Dans le Tell, la température moyenne en été se situe entre 21°C et 24°C et chute en hiver vers 10°C à 12°C. Les hivers ne sont pas froids, mais le taux d'humidité est élevé et les maisons sont rarement convenablement chauffées.

Le Tell, au nord du pays, possède un climat méditerranéen, les étés sont chauds et secs et les hivers sont doux et pluvieux et parfois enneigé. Cette zone est la plus humide d'Algérie, elle est caractérisée par des précipitations annuelles qui varient entre 400 et 1 000 mm d'eau.

Le Nord bénéficie d'un climat méditerranéen. En été, les températures sont élevées. Les températures moyennes mensuelles se situent entre 25 °C et 11 °C.

Au nord, dans les villes côtières, les températures hivernales 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.

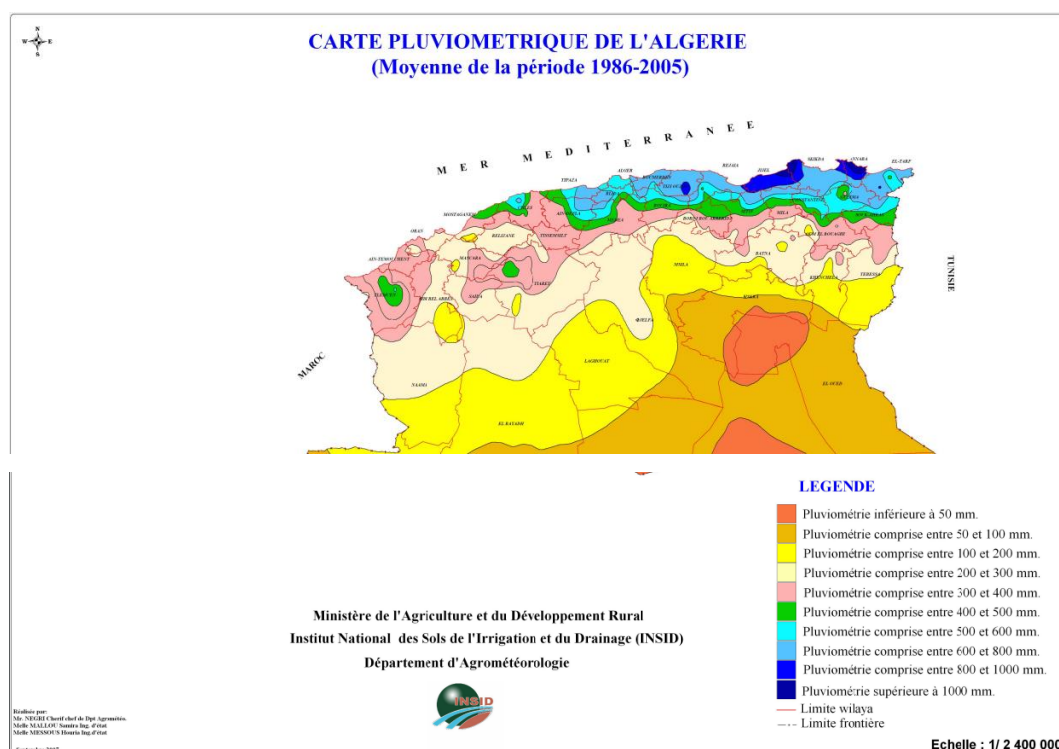


Figure II.3 : Carte pluviométrique de l'Algérie (moyenne des précipitations annuelles sur la période 1986-2005 – Source : l'INSID).



II.4. Ressources en eau

Les potentialités en eau du Nord de l'Algérie sont estimées à 12,5 milliards de m³, dont 10 milliards de m³ en eau de surface, et plus de 2,5 milliards de m³ en eau souterraine (ANRH, 2007). 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 (II.1).

Tableau II.1 : Nombre de barrages et la capacité initiale. (source : ABH)

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

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 II.2 : 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

En ce qui concerne les eaux souterraines elles sont globalement évaluées à environ 2,5 milliards de m³ (Ministère des Ressources en eau, 2012). 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 II.3 donne les estimations des ressources en eau souterraines de l'Algérie du Nord.

Tableau II.3 : Potentialités des eaux souterraines de l'Algérie du Nord. (source : ABH)

Région Hydrographiques	Cheliff- Zahrez	Algérois- Hodna- Soummam	Constantinois- Seybouse- Mellegue	Oranie- Chergui	Chott-
Ressources Souterraines mobilisées (Hm ³ /an)	534	1 034,7	776	320,77	

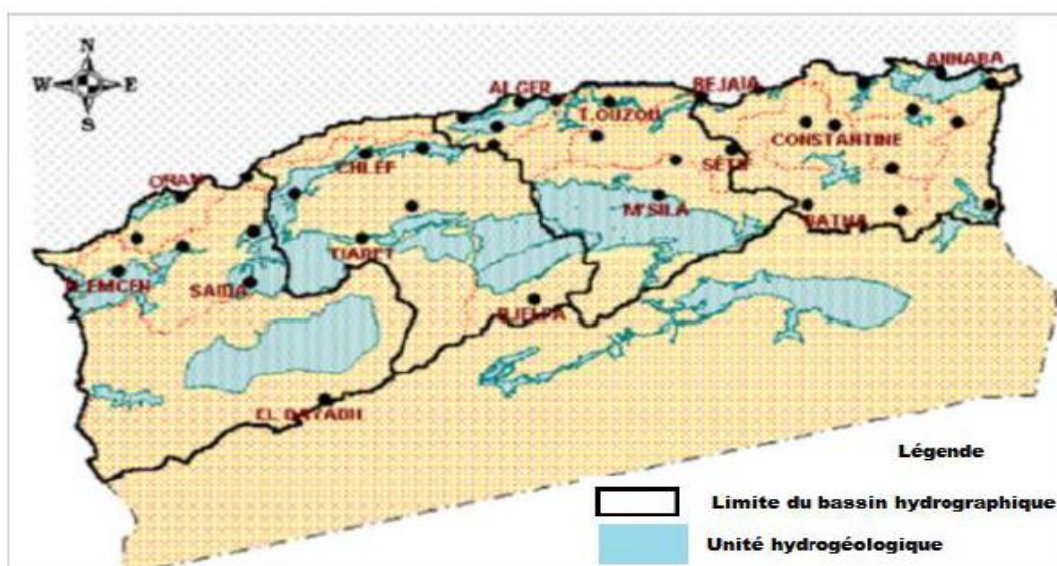


Figure II.4 : Ressources en eau souterraine dans l'Algérie du Nord (El-Meddahi, 2010).

Chapitre III
Matériels et Méthodes



Chapitre III

Matériels et Méthodes

III.1. Matériels

Pour les besoins de notre étude, nous disposons des données mensuelles et annuelles de pluies et de températures de huit stations météorologiques collectées au sein de l'ONM. 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 du nombre disponible 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 à l'échelle de la zone d'étude.

Tableau III.1 : Caractéristiques géographiques des stations pluviométriques de la zone d'étude.

Stations	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Période d'étude (Pluie)	Période d'étude (Température)
Alger	03°13 E	36°41 N	25 m	1950 – 2021	1950 - 2021
Oran	00°36 W	35°38 N	90 m	1950 - 2021	1950 - 2021
Chleff	01°20 E	36°12 N	143 m	1950 - 2021	1950 - 2021
Tiaret	01°28 E	35°21 N	977 m	1984 - 2021	/
Sidi bel Abbes	00°37 W	35°12 N	475 m	1985 - 2021	/
Annaba	07°48 E	36°50 N	03 m	1950 - 2021	1950 - 2021
Mascara	00°18 E	35°36 N	474 m	1977 - 2021	1977 - 2021
Constantine	06°37 E	36°17 N	693 m	1950 - 2021	1950 - 2021



III.2. Méthodes

Pour les besoins de notre travail, nous avons utilisé le test de Mann-Kendall pour détecter les tendances au sein des séries de précipitations et de températures ainsi que le test de Pettitt pour détecter un changement de la moyenne.

III.2.1. Test de Mann-Kendall pour la tendance monotone

Le but du test de Mann-Kendall (MK) (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) est d'évaluer statistiquement s'il existe une tendance monotone à la hausse ou à la baisse de la variable d'intérêt au fil du temps. Une tendance monotone à la hausse (à la baisse) signifie que la variable augmente (diminue) constamment dans le temps, mais la tendance peut être linéaire ou non. Le test MK peut être utilisé à la place d'une analyse de régression linéaire paramétrique, qui peut être utilisée pour tester si la pente de la ligne de régression linéaire estimée est différente de zéro. L'analyse de régression nécessite que les résidus de la droite de régression ajustée soient normalement distribués ; une hypothèse non requise par le test MK, c'est-à-dire que le test MK est un test non paramétrique (sans distribution).

- **Hypothèses**

Les hypothèses suivantes sous-tendent le test MK :

- Lorsqu'aucune tendance n'est présente, les mesures (observations ou données) obtenues au cours du temps sont indépendantes et identiquement distribuées. L'hypothèse d'indépendance signifie que les observations ne sont pas corrélées en série dans le temps.
- Les observations obtenues au fil du temps sont représentatives des conditions réelles aux instants d'échantillonnage.
- Les méthodes de collecte, de manipulation et de mesure des échantillons fournissent des observations impartiales et représentatives des populations sous-jacentes au fil du temps.

La statistique de Mann-Kendall S est définie comme suit:

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



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

Avec : X_k et X_i : Les valeurs séquentielles des données.

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.

III.2.2. Test de Pettitt (1979)

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.

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.

Chapitre IV
Résultats et interprétation



Chapitre IV

Résultats et interprétation

IV.1. Analyse de la variabilité pluviométrique

IV.1.1. Évolution temporelle des précipitations

L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période 1950-2021 à la station d'Alger (figure IV.1) témoigne d'une forte variation où les précipitations étaient proche de la moyenne au tout début de la période d'étude qui ont fortement augmenté par la suite et enregistrer un pic en 1973 (1171mm). Cette variation a été suivi d'une diminution progressive des précipitations. Depuis 1976 la majorité des années enregistrent une pluviométrie en dessous de la moyenne. Les années les moins pluvieuses sont 1983,1989 et 2000.

La station d'Oran enregistre au début de la période d'étude et jusqu'à 1975 des oscillations qui sont dans l'ensemble au-dessus de la moyenne pluviométrique. Les années 1969 et 1971 sont les plus humides. Entre 1976 et 2005, une tendance à la baisse est observée où la plupart des années affichent une pluviométrie inférieure à la moyenne. Les années 1981 et 1983 sont les plus sèches. Depuis 2008, un retour vers la normale est observé, la plupart des années enregistrent une pluviométrie proche voire supérieure à la moyenne particulièrement les années 2008, 2011, 2013 et 2018.

A sidi bel Abbes, l'évolution des précipitations au cours de la période d'étude 1985-2021 montre que la plupart des années enregistrent une pluviométrie en dessous voir près de la moyenne avant 2004 excepté pour l'année 1996 qui enregistre un pic de 480mm. A partir de 2004 une succession d'années humides est observées sauf pour les années 2019, 2020 et 2021 qui enregistrent une pluviométrie en dessous de la moyenne.

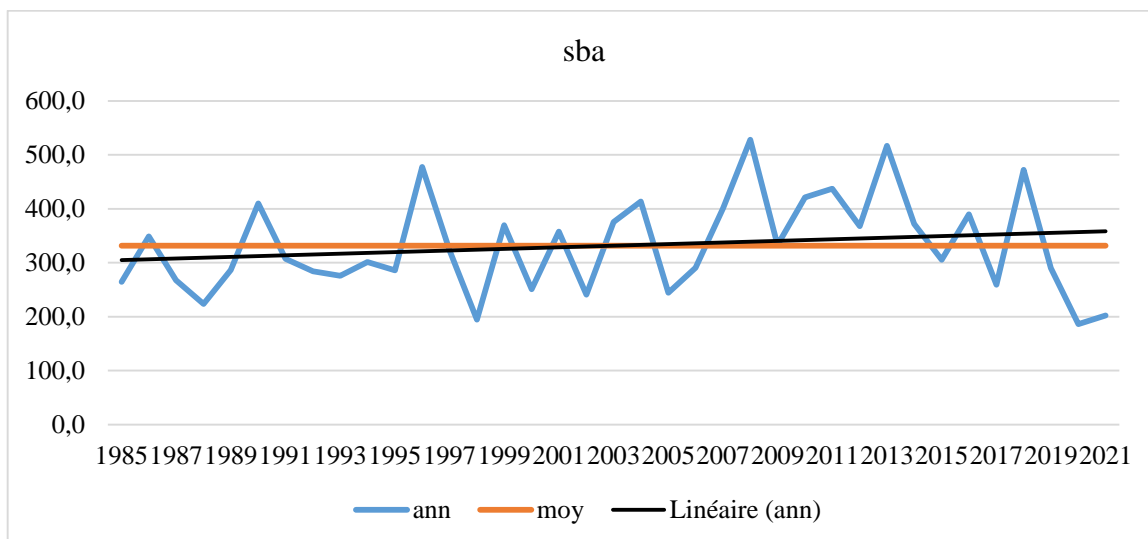
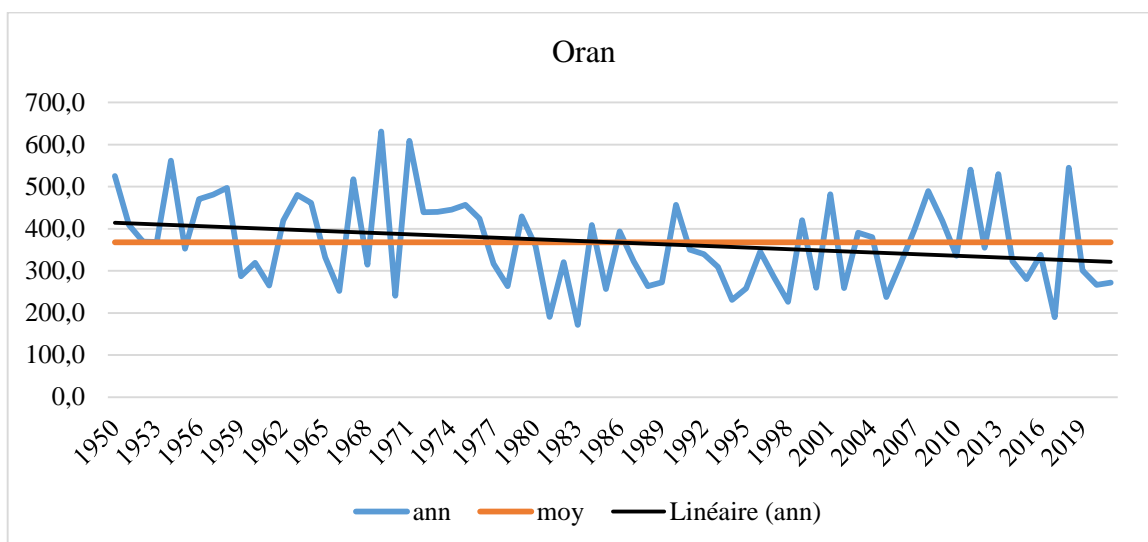
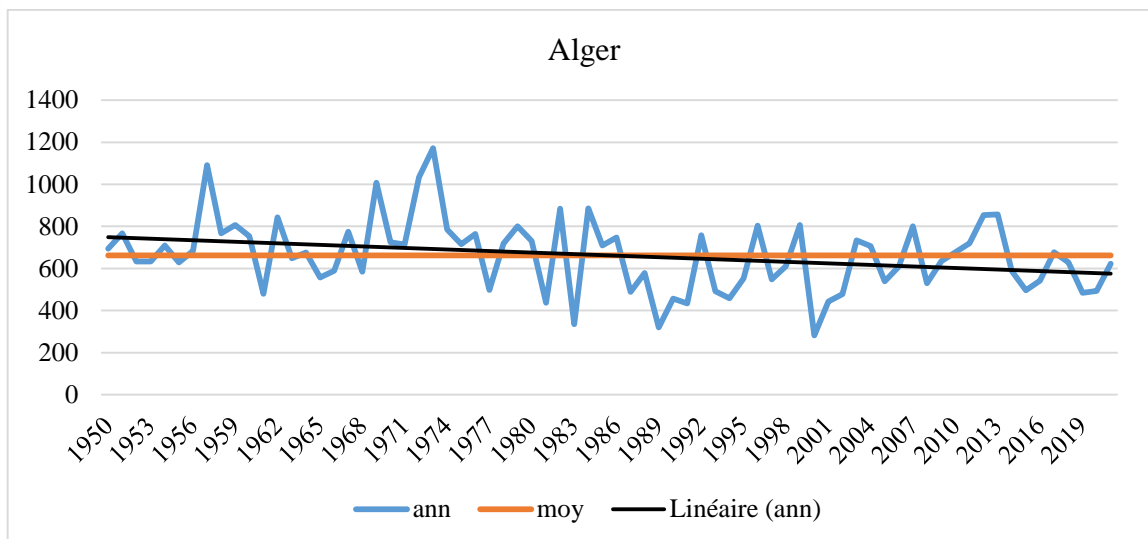


Figure IV.1 : L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période d'étude à Alger, Oran et à Sidi Bel Abbess.



La station de Chleff se démarque par une oscillation d'années sèches et humides. Les années les plus sèches sont observées entre 1981 et 1994 tandis que les années les plus pluvieuses sont observées entre les années 50 et 70 puis en 2011 et 2018.

La variabilité pluviométrique à Tiaret montre une tendance vers l'augmentation au cours de la période 1984-2021. Le graphe montre une variation graduelle avec une légère augmentation au début de la période qui tend vers la baisse pour atteindre l'année la moins pluvieuse en 1994. Les pluies au-dessus de la moyenne sont enregistrées en 1996, 1997, 2003 puis de 2008 à 2014 et l'année la plus pluvieuse est 2018. Les années qui enregistrent une pluviométrie déficitaire sont observées de 1998 à 2002, de 2004 à 2007, de 2015 à 2017, de 2019 à 2021.

A Mascara entre 1977 et 1987 une alternance d'années sèches et humides est observée, suivie d'une succession d'années sèches jusqu'à 2006. A partir de 2007 la majorité des années enregistrent une pluviométrie en dessus de la moyenne excepté pour les années 2019, 2020 et 2021.

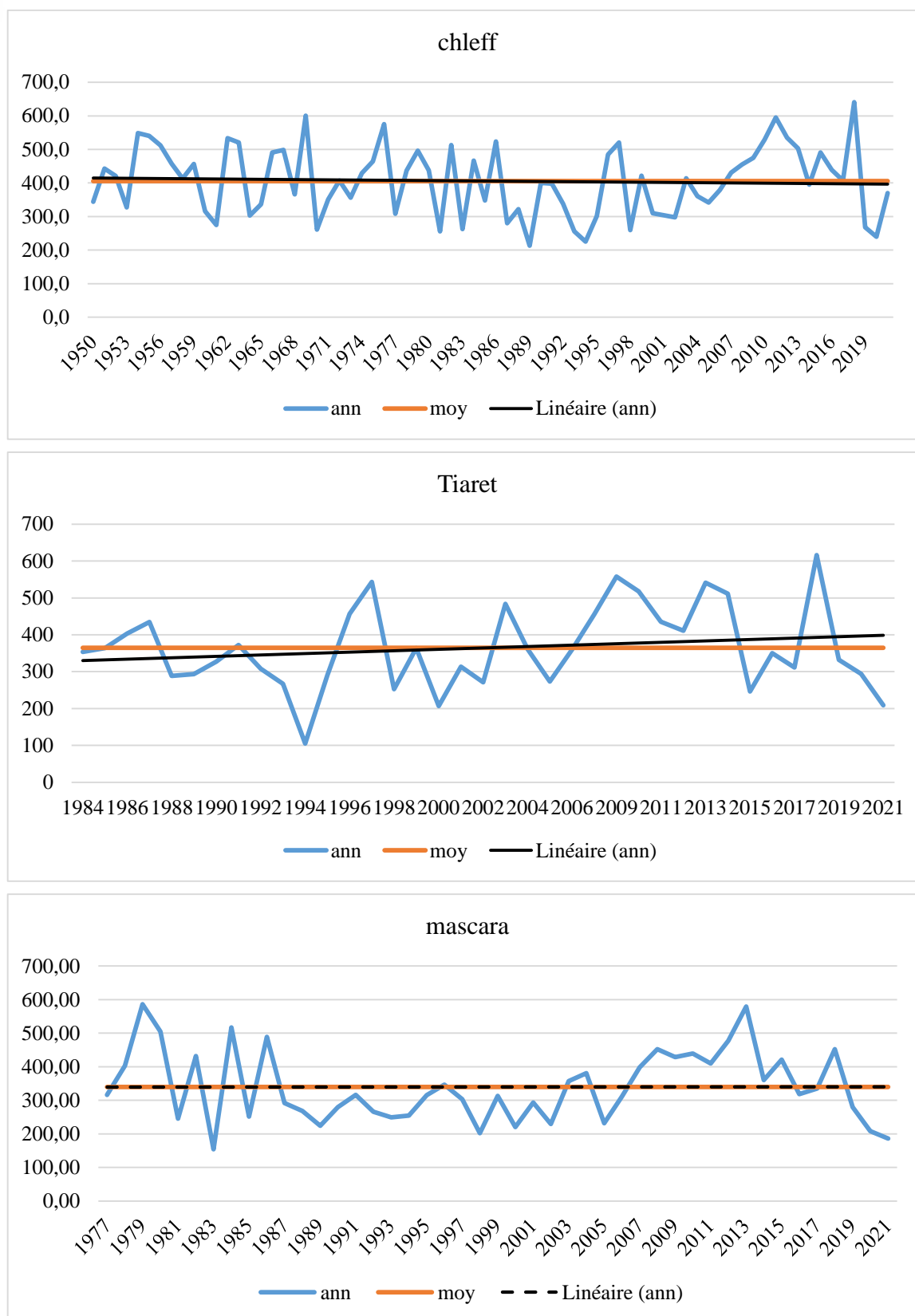


Figure IV.2 : L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période d'étude à Chleff, Tiaret et a Mascara.



La variabilité pluviométrique observée à la station d'Annaba montre une alternance d'années sèches et humides tout au long de la période d'étude 1950-2021. L'année la plus sèche est observée en 1961 (276mm) tandis que l'année la plus humide est marquée en 1984 (1126mm). Le régime pluviométrique observé à Constantine montre la présence d'années pluvieuses situées entre deux années sèches tout au long de la période d'étude 1950-2021. Les années 1976 et 1984 (environ 860mm) sont les plus pluvieuses ainsi que les années 1959 1972 et 2003 (environ 800 mm). L'année 1983 est la plus sèche suivi de l'année 2021 et 1961 avec une pluviométrie qui ne dépasse pas 280 mm. La pluviométrie enregistrée au cours des autres années reste près de la moyenne.

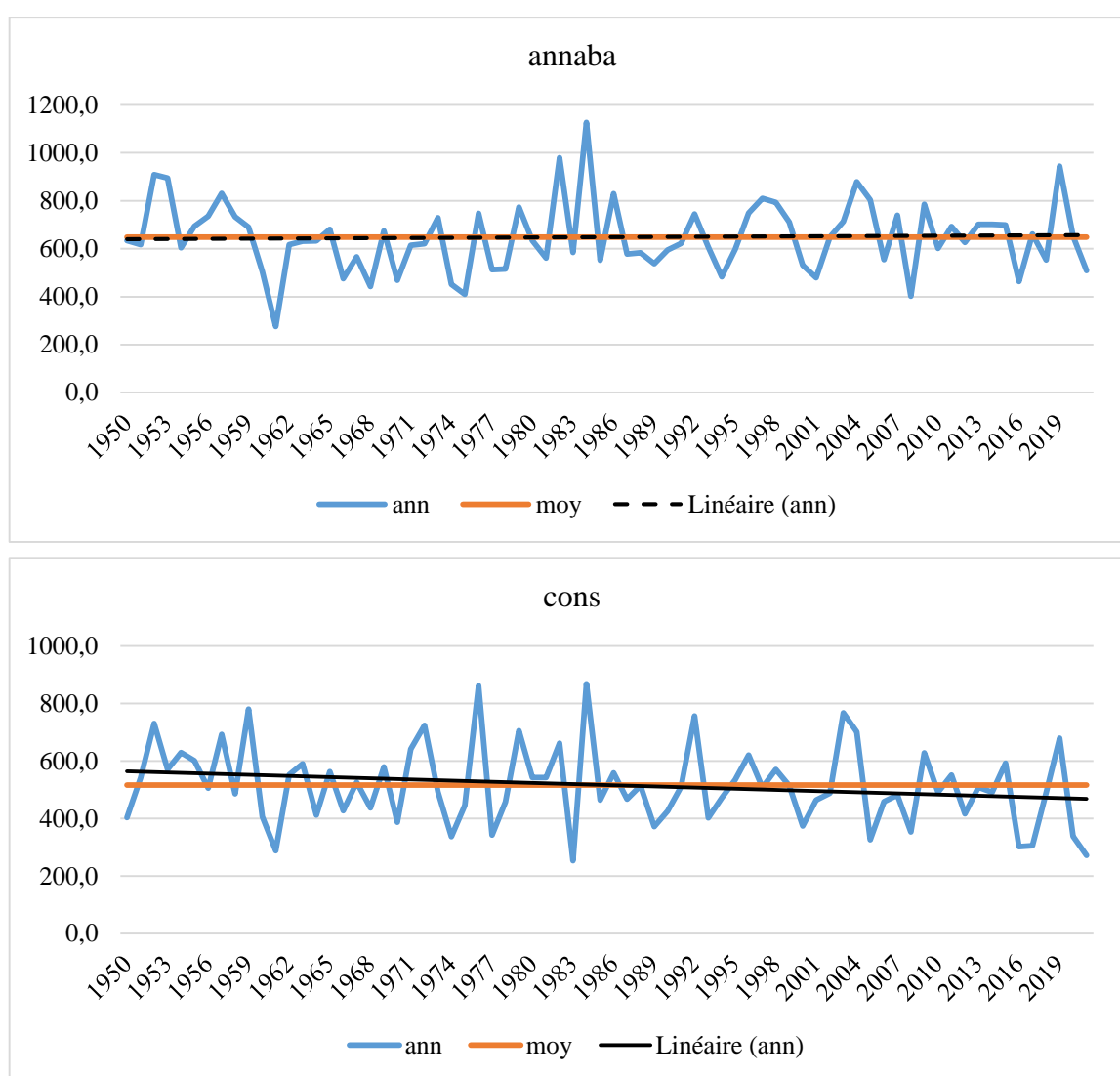


Figure IV.3 : L'évolution temporelle des précipitations annuelles au cours de la période d'étude à Annaba et Constantine.



Les histogrammes ci-dessous montrent l'évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours des différentes décennies de chaque période d'étude disponible pour chaque station. Aussi nous avons choisi d'évaluer les décennies à partir des années 80 qui ont marqué le début de la sécheresse en Algérie dans le but de déduire la persistance de la sécheresse au cours des dernières décennies.

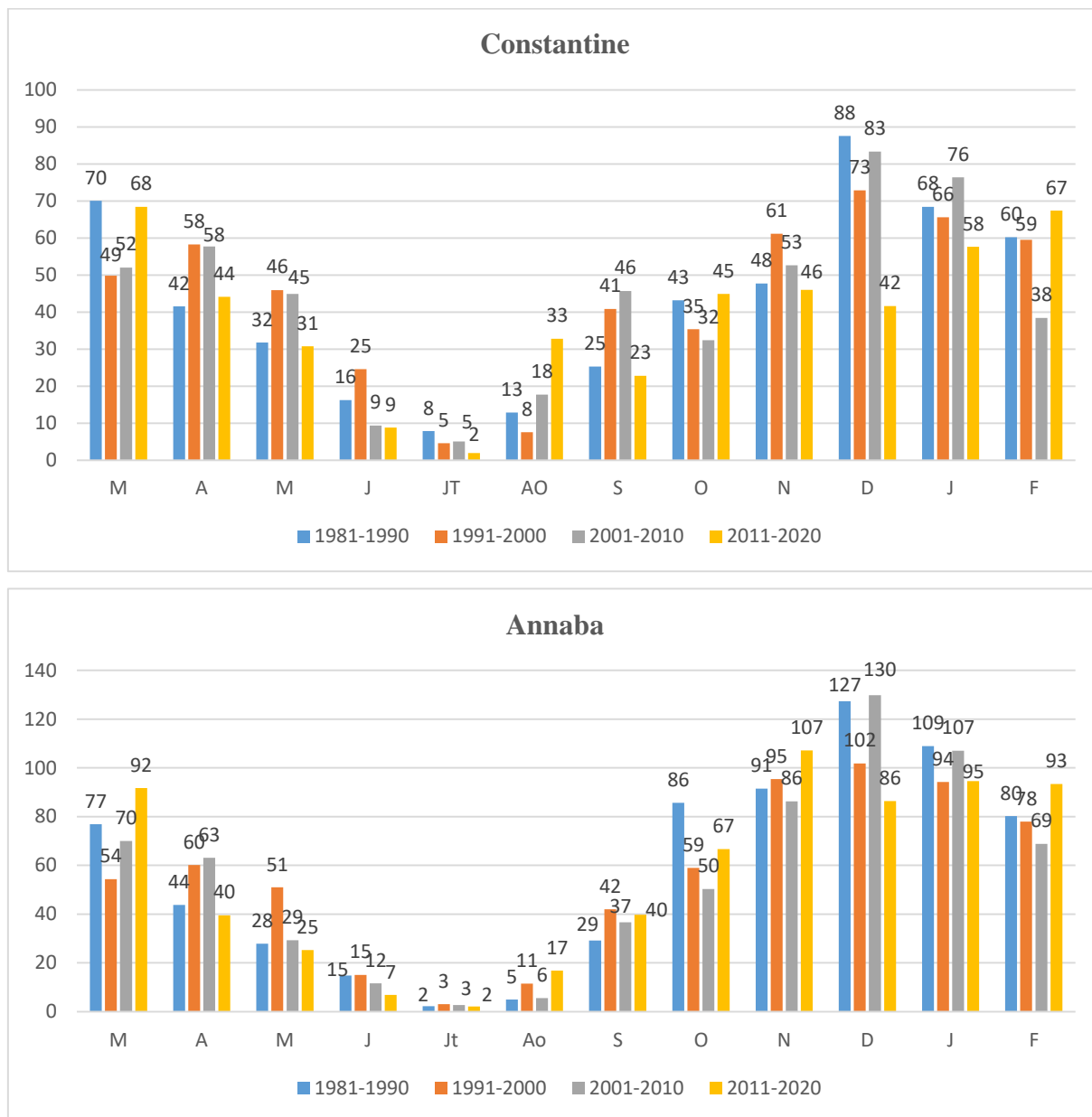


Figure IV.4 : Évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours de la période d'étude pour les stations de Constantine et Annaba.

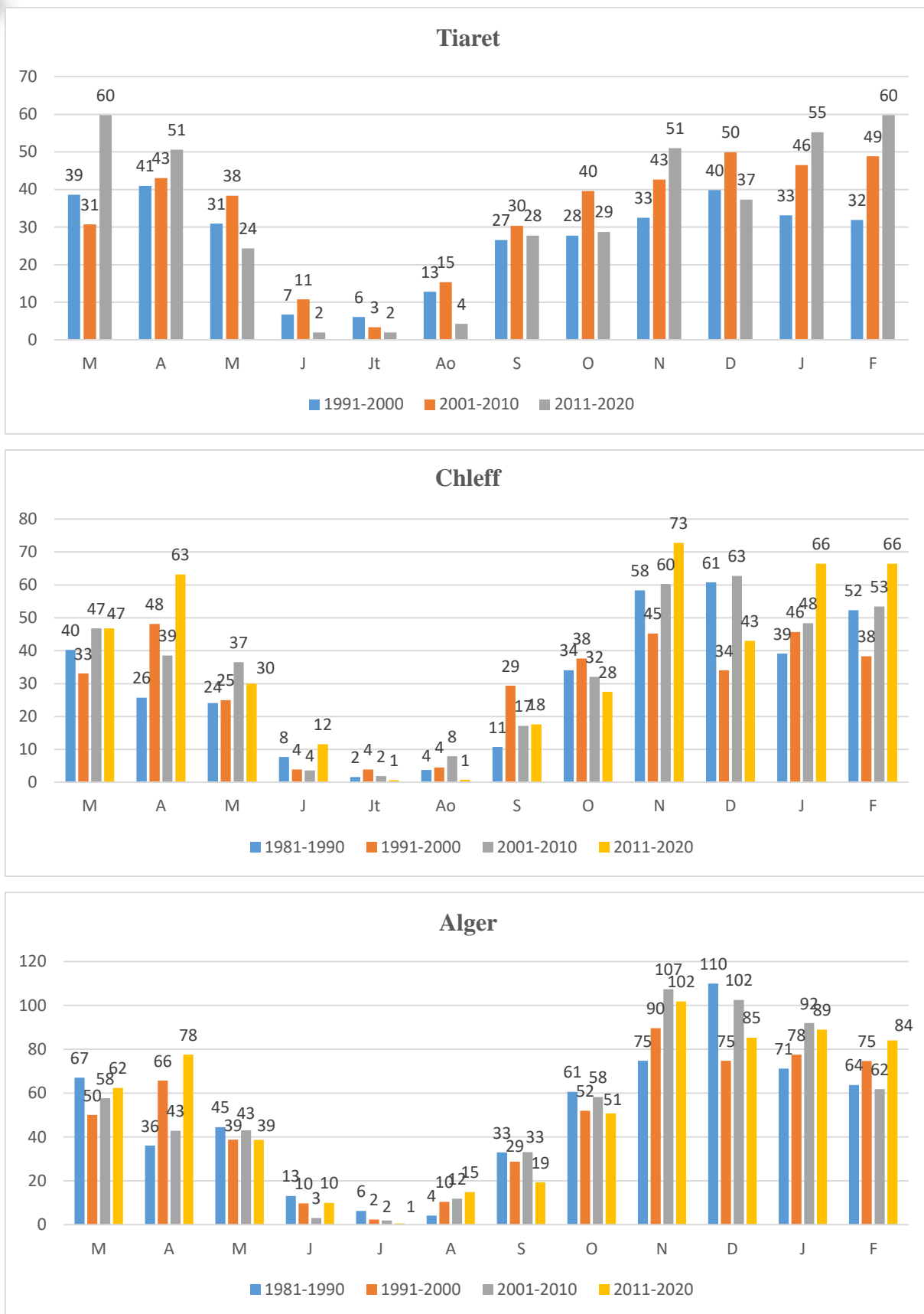


Figure IV.5 : Évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours de la période d'étude pour les stations de Tiaret, Chleff et Alger.

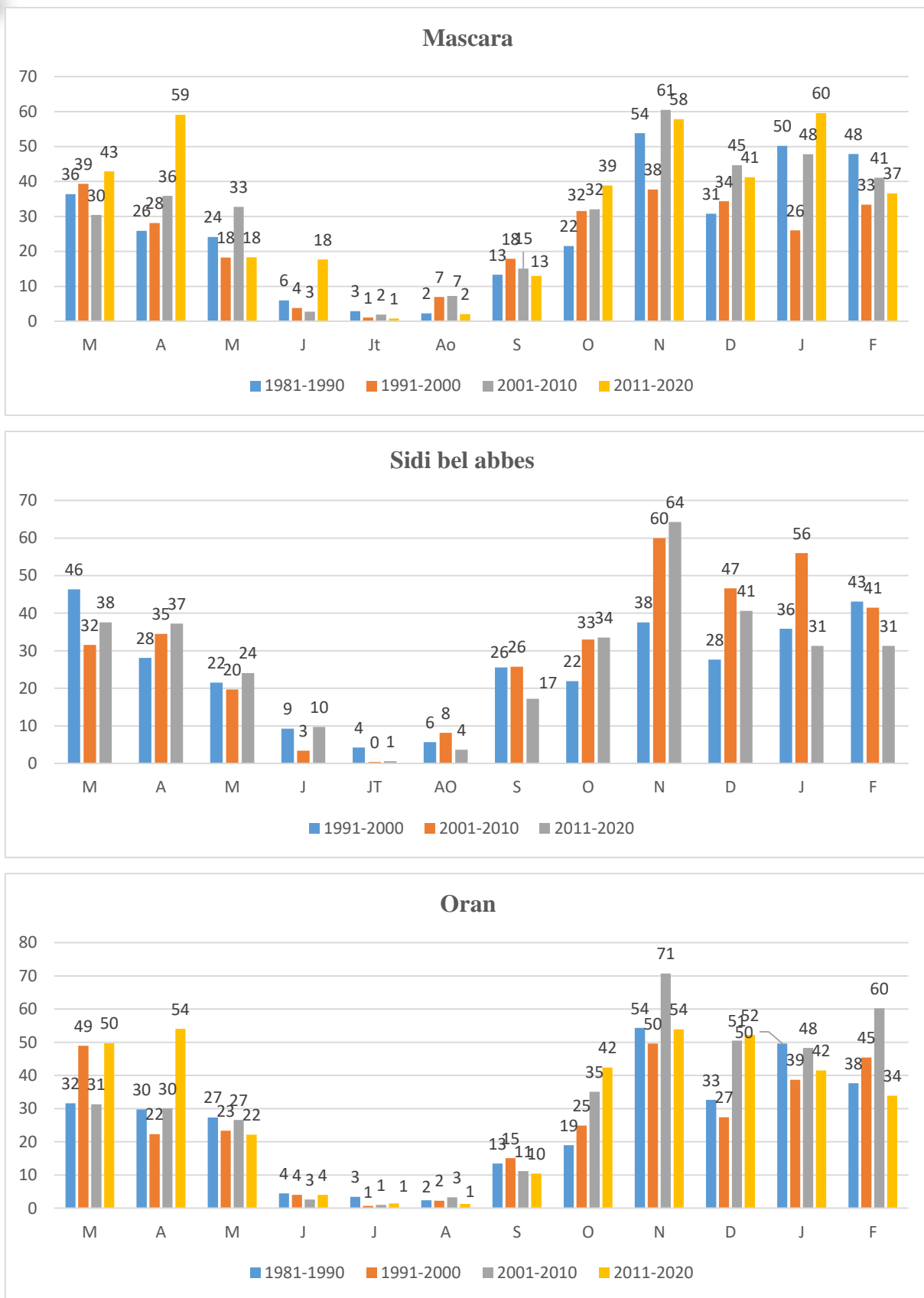


Figure IV.6 : Évolution des pluies à l'échelle mensuelle au cours de la période d'étude pour les stations de Mascara, sidi bel Abbes et Oran.



A l'est (Annaba, Constantine) le printemps est plus pluvieux durant les décennies 80s et 2011-2020 au début mais se diminue de milieu à la fin de la saison, la décennie 90s est la plus pluvieuse au début et de 2011-2020 est la moins pluvieuse au début de l'été mais s'augmente à la fin de la saison, l'automne apparaît plus pluvieux durant les décennies 90s et 2001 pour Constantine mais pour Annaba il était plus pluvieux durant les décennies de 2001-2010 et de 2011-2020, au début et milieu d'hiver la région était plus pluvieuse durant les décennies 80s et de 2001 mais à la fin de saison la décennie de 2011 s'augmente et devenu la plus pluvieuse.

La région de centre a l'ouest (Alger, Chleff, Tiaret) le printemps apparaît plus pluvieux durant la décennie 2011-2020 ce qui montre que les sécheresses ont diminué, en été les pluies à cette décennie s'augmente au centre (Alger) et diminue à l'ouest (Tiaret et Chleff), en remarque que la décennie de 2011-2020 les pluies s'augmente au cours de l'automne, même au cours d'hiver ou elle est la plus pluvieuse a Tiaret et Chleff mais à Alger les décennies 80s et 2001-2010 ont les plus pluvieuses.

La région de l'ouest (Oran, Sba, Mascara) on voit que la décennie de 2011-2020 est la plus pluvieuse au printemps et on déduit une diminution de la sécheresse, même pour l'été en mascara par contre les décennies 80s et 90s était les plus pluvieuses en Oran et sidi bel Abbas respectivement en été, l'automne apparaît plus pluvieux durant la décennie de 2001-2010 et moins pluvieux durant les décennies 80s et 90s, et pour l'hiver on remarque que la décennie de 2001-2010 était la plus pluvieuse.

IV.1.2. Détection de tendance pluviométrique selon Mann-Kendall

Afin d'analyser la variabilité temporelle des précipitations, la pente de sen associée au test de Mann-kendall a été utilisée au seuil de signification 5%. Les valeurs en gras représentent les tendances significatives.

A l'échelle annuelle des tendances négatives significatives sont observées à Alger et Oran qui se traduisent respectivement par une baisse d'environ 20mm/décennie et 15 mm/décennie.



Tableau IV.1 : la pente de sen des données des précipitations.

Stations	Jan.	fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Ao.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
Alger	-4.8	-3	-1.15	-2.16	0.72	-1.25	0	0.28	0.11	-5.69	3.49	-2.66	-19.69
Oran	-2.86	-1.15	-0.86	-0.98	0.33	-0.38	0	0	-0.08	-0.75	4.33	-2.99	-15.04
Chleff	0	-0.21	0.2	0.27	-0.43	-0.39	0	0	1.19	-4.13	4.56	-1.64	-3.51
Tiaret	-0.15	0.85	3.04	6.01	-2.51	0	-0.04	-0.69	2.28	-0.82	1.97	1.03	12.16
Annaba	-0.38	0.14	4.67	0.06	-0.64	-0.4	0	0.2	1.2	-1.72	1.34	2.44	1.6
Sba	3	-3.08	-0.47	0.87	0	0	0	-0.09	-0.94	4.47	3.38	6.05	16.35
cons	-1.3	-2.39	1.7	-1.24	-1.18	-0.83	-0.03	0.57	-0.43	-2.23	-2.38	-4	-13.64
mascara	1.17	-3.48	-1.28	4.38	-1.67	0	0	0	0.36	0.38	4.42	-0.19	8.1

Les stations de Chleff et Constantine montrent des tendances négatives alors que les stations de Tiaret, Annaba et Mascara indiquent des tendances positives non significatives.

A l'échelle mensuelle la station d'Alger montre des tendances négatives significatives aux mois de Juin et octobre caractérisées respectivement par une baisse de 1,25mm et 5,7mm/décennie.

A Oran des tendances négatives non significatives sont observées pour tous les mois de l'année excepté le mois de novembre qui montre une tendance positive significative.

A Chleff des tendances négatives non significatives sont observées aux mois de février, mai et décembre, alors que le mois d'octobre enregistre une baisse significative des précipitations d'environ 4,13mm/décennie contrairement au mois de Novembre qui enregistre une hausse significative d'environ 4,33 mm / décennie.



A Tiaret des tendances négatives sont observées aux mois de Janvier, Mai, Aout et octobre alors que des tendances positives sont observées aux mois février, mars, avril, septembre, novembre et décembre.

Des tendances positives sont observées à Sidi Bel Abbes aux mois de janvier, avril, octobre, novembre et décembre tandis que les mois de février, mars et septembre sont marqués par des tendances négatives.

La station de Mascara est marquée par des tendances positives aux mois de janvier, avril et novembre alors que des tendances négatives sont observées aux mois de février, mars et avril.

A Annaba, le mois de mars est marqué par une tendance positive significative caractérisé par une augmentation de 4,67 mm/décennie. Des tendances négatives non significatives sont également observées aux mois de janvier, mai, juin et Octobre.

A Constantine des tendances négatives sont observées pour l'ensemble des mois de l'année ce qui explique la baisse importante enregistrée à l'échelle annuelle (-13,6 mm/décennie). Les travaux menés par Taibi (2016) ont mis en évidence des tendances plutôt positives dans la région au cours de la période 1950-2010. Ce qui montre que les dernières années ont été déficitaires au niveau de Constantine.

IV.1.3. Détection de rupture selon le test de Pettitt

Afin de détecter un changement de la moyenne dans les séries pluviométriques ainsi que la date du changement, le test de Pettitt a été appliqué.

Dans l'ensemble les résultats obtenus concordent avec les résultats du test de Mann-Kendall.

A l'échelle annuelle les stations d'Alger et Oran enregistrent une baisse significative des précipitations d'environ 30% au cours de la période 1950-2021 observée respectivement à partir de 1986 et 1976 et coïncident avec les résultats obtenus par (DRAOUI et ARRADJ, 2017). Cependant à l'échelle mensuelle aucune baisse significative n'est enregistrée pour ces deux stations, à l'exception du mois de juin qui enregistre une baisse de plus de 70% à partir de la moitié des années 70. En automne, une augmentation considérable de la pluviométrie est enregistrée au mois d'octobre à partir de 1984 à la station d'Alger ainsi qu'au mois de novembre à la station d'Oran depuis 1997 ce qui coïncide avec les travaux de (Bouklikha et al., 2021a).



Pour les autres stations aucune rupture significative n'est observée à la fois à l'échelle annuelle qu'à l'échelle saisonnière.

Rappelons que les travaux de **taibi et al. (2013, 2017)** ainsi que d'autres études (**Meddi et al. 2010 ; Bekkoussa et al., 2008**) ont mis en évidence une baisse significative de la pluviométrie à partir de la moitié des années 70 observée au Nord-ouest du Pays et caractérisée par un déficit pluviométrique de 13 à 30 %.

Dans notre cas les stations situées à l'ouest (Tiaret, SBA et Mascara) ne montrent aucun changement au cours de la période d'étude de 1980 à 2021 ce qui veut dire que les sécheresses sévères et persistantes qui ont marqué cette région entre 1980 et 2000 ne sont plus aussi intenses au cours de ces dernières années ce qui expliquent l'absence de rupture significative dans cette région.



Tableau.IV.2 : Résultat de test d'homogénéité de Pettitt sur les données des précipitations.

Alger

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Ao.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
Date de rupture	/	/	/	/	/	1976	/	/	/	1984	/	/	1986
Moy avant	/	/	/	/	/	25.4	/	/	/	20.4	/	/	708.9
Moy après	/	/	/	/	/	6.3	/	/	/	29.3	/	/	488.9
diff	/	/	/	/	/	-75%	/	/	/	43%	/	/	-31%

Oran

Date de rupture	/	/	/	/	/	1974	/	/	/	/	1997	/	1976
Moy avant	/	/	/	/	/	8.1	/	/	/	/	4.1	/	456.5
Moy après	/	/	/	/	/	0.3	/	/	/	/	49.1	/	317.2
diff	/	/	/	/	/	-96%	/	/	/	/	1097%	/	-30%

Chlef

Date de rupture	/	/	/	/	/	1992	/	/	/	/	/	/	/
Moy avant	/	/	/	/	/	24.7	/	/	/	/	/	/	/
Moy après	/	/	/	/	/	0.0	/	/	/	/	/	/	/
diff	/	/	/	/	/	-100%	/	/	/	/	/	/	/

Sba

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Ao.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	ann
Date de rupture	/	/	/	/	2009	/	/	/	/	/	/	/	/
Moy avant	/	/	/	/	5.0	/	/	/	/	/	/	/	/
Moy après	/	/	/	/	25.0	/	/	/	/	/	/	/	/
diff	/	/	/	/	400%	/	/	/	/	/	/	/	/



IV.2. Analyse de la variabilité des températures

IV.2.1. Évolution temporelle des températures

L'analyse graphique des températures par la régression linéaire met en évidence une hausse des températures annuelles à partir de la moitié des années 80 aux stations d'Oran, Chleff, Alger, Annaba et Constantine au cours de la période 1950-2021 et depuis 2000 à la station de Mascara au cours de la période 1977- 2021. Entre les années 70 et 80, on constate que l'ensemble des années enregistrent une température inférieure à la moyenne.

Les années 90 et 2000 sont les plus chaudes pour la plupart des stations.

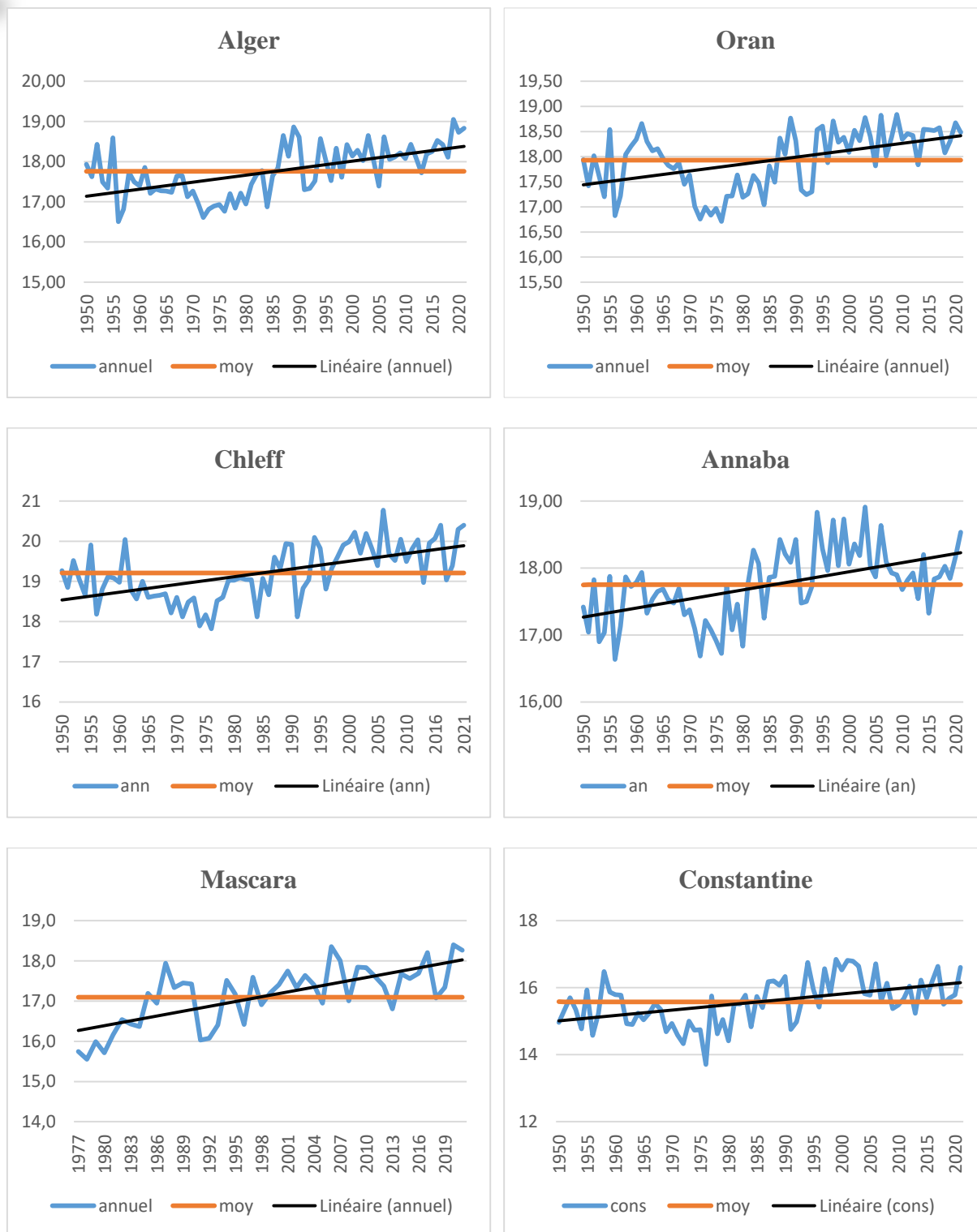


Figure IV.7 : Évolution temporelle des températures.



IV.2.2. Détection de la tendance des températures

Pour la température il y a plusieurs tendances significatives positives pour chaque station

A l'échelle annuelle la pente de sen met en évidence des tendances significatives positive commençant par Alger (0.19 °C/decennie), Annaba (0.12 °C/decennie), Oran (0.14 °C/decennie), Chleff (0.2 °C/decennie), Mascara (0.4 °C/decennie) et Constantine (0.15 °C/decennie)

A l'échelle mensuelle La station d'Alger enregistre des tendances significatives positives pour les mois d'avril, mai, juin, juillet, aout, septembre et octobre qui sont respectivement de 0.21 °C/decennie, 0.22 °C /decennie, 0.35 °C /decennie, 0.35 °C /decennie, 0.3 °C /decennie, 0.14 °C /decennie, 0.25 °C /decennie et des tendances positives non significative pour les mois de janvier, fevrier, mars, novembre et decembre.

A Annaba on a aussi des tendances significatives positives des valeurs de 0.17°C/décennie pour avril et mai, 0.21 °C /decennie pour juin et aout, 0.26 °C /decennie pour juillet, 0.25 °C /decennie pour octobre et des tendances positives non significatives en janvier, février, mars, septembre, novembre et décembre.

Pour Oran c'est 0.11 °C /decennie en mars, 0.21 °C /decennie en avril, mai et juillet, en juin 0.23 °C/decennie, aout et septembre c'est 0.15 °C /decennie, octobre c'est 0.2 °C /decennie des tendances positives significatives et en janvier, février, novembre et décembre des tendances positive non significatives.

Station de Chleff enregistre tendances positives significatives avec les valeurs 0.18°C/décennie en mars et mai, 0.26 °C /decennie en avril, 0.32 °C/decennie, 0.23°C/décennie, 0.25 °C /decennie, 0.33 °C /decennie et 0.2 °C /decennie en juin, juillet, aout, octobre et décembre et non significatives en janvier, février, septembre et novembre.

Mascara aussi avait des tendances positives significatives des valeurs de 0.29°C/décennie, 0.57°C/décennie, 0.89 °C /decennie, 0.65 °C /decennie, 0.81 °C /decennie, 0.65 °C /decennie et 0.4 °C /decennie en mars, avril, mai, juin, juillet, aout et octobre et non significatives pour les mois janvier, février, septembre, novembre et décembre.

Pour Constantine concernant les tendances significatives positives on a 0.26 °C /decennie, 0.27 °C /decennie pour avril, mai et 0.33 °C /decennie pour juin et juillet, 0.24 °C /decennie pour octobre et non significatives pour janvier, fevrier, mars, septembre, novembre et decembre.



Tableau IV.3 : la pente de sen des données des températures.

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Ao.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
Constantine	0.06	0	0.07	0.26	0.27	0.33	0.33	0.22	0	0.24	0.03	0.04	0.15
Alger	0.06	0	0.1	0.21	0.22	0.35	0.35	0.3	0.14	0.25	0.04	0.05	0.19
Annaba	0.11	0	0.03	0.17	0.17	0.21	0.26	0.21	0.1	0.25	0.06	0.04	0.12
Oran	0.04	0.1	0.11	0.21	0.21	0.23	0.21	0.15	0.15	0.2	0	0.11	0.14
Chleff	0.08	0.11	0.18	0.26	0.18	0.32	0.23	0.25	0.1	0.33	0.03	0.2	0.2
Mascara	0.08	-0.09	0.29	0.57	0.89	0.65	0.81	0.65	0.25	0.4	0.11	0.14	0.4

IV.2.3. Détection de rupture selon le test de Pettitt

A l'échelle annuelle on le test de Pettitt met en évidence une hausse significative des températures de 0.9 C° à Alger, de 1.2 C° à Oran, de 0.5 C° à Chleff, de 1.4 C° à Annaba, de 0.5 C° a mascara, de 0.4 C° à Constantine

L'enregistrement a la station d'Alger montre une diminution de -1.9 C° en 1990 et -0.2 C° en 1984 en février et octobre respectivement, une augmentation de 0.8 C°, 0.4 C° en avril et juin respectivement et une hausse significative de 4.4 C° en 1981 pour juillet, 3.9 C°, 1.7 C° les mois aout et septembre l'année 1985.

Pour Oran on a une baisse de -0.2 en 1984 le mois d'octobre et une hausse de 0.2 C°, 0.1 C°, mai et juin années 1991,1995 respectivement et une augmentation significative en 1985, 1986, 1993 et 1996 de 2.3C°, 2.8 C°, 3.3 C° et 1.6 C° les mois aout, mars, juillet et septembre.

A la station de Chleff, les résultats montrent une diminution significative en 1984 de -1.2 C° en octobre et une augmentation de 0.8 C° et 0.3 C° en avril et mai les années 1995 et 1991. Une hausse significative de 2.8 C° et 2.6 C° en mars et juin l'année 1992, de 1.6 C°, 2.3 C° et 2.7 C° les mois de juillet, aout et décembre en 1997, 1985 et 1975 respectivement.



La station d'Annaba enregistre une augmentation de 3.1 C° et 2.2 C° à partir de 1980 durant les mois d'avril et septembre, de 3.2 C° et 0.5 en 1992 pour les mois de mai et juin, de 2.2 C° et 2.6 en 1985 les mois aout et octobre, et une hausse très significative de 5 C° en 1981 le mois de juillet.

A Mascara, une augmentation significative de 2.4 C°, 2.2C°, 1.3 C° et 1.2 C° les mois avril, mai, juin et octobre à partir de 1996 à 1998 et de 1.7 C° le mois de juillet en 2002 et de 2.5 C° est enregistrée à partir de 1985 durant le mois d'aout.

A la station de Constantine une augmentation significative de 1.6 C° est observée en avril à partir de 1997, de 4.4 C° et 2.2 C° les mois mai et juin en 1992, de 4.1 C° le mois de juillet en 1981 et de 2.7 C° et 2.5 C° les mois aout et octobre en 1985.



Tableau IV.4 : Résultat de test d'homogénéité de Pettitt sur les données des températures.

Alger

	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Ao.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
Date de	/	1990	/	1995	1987	1984	1981	1985	1985	1984	/	/	1985
Moy	/	12.3	/	14.4	18.9	22.0	22.8	23.5	22.6	20.3	/	/	16.8
Moy	/	10.4	/	15.2	18.9	22.4	27.2	27.4	24.3	20.1	/	/	17.8
diff	/	-1.9	/	0.8	0.0	0.4	4.4	3.9	1.7	-0.2	/	/	0.9

Oran

Date de	/	/	1986	1994	1991	1995	1993	1985	1996	1984	/	/	1993
Moy	/	/	11.9	15.9	19.0	22.4	23.9	24.1	22.2	20.4	/	/	17.2
Moy	/	/	14.7	15.9	19.2	22.5	27.2	26.4	23.8	20.2	/	/	18.5
diff	/	/	2.8	0.0	0.2	0.1	3.3	2.3	1.6	-0.2	/	/	1.2

Chleff

Date de	/	/	1992	1995	1991	1992	1997	1985	/	1984	/	1975	1986
Moy	/	/	11.4	15.8	21.0	23.2	28.5	27.7	/	21.9	/	9.9	19.0
Moy	/	/	14.2	16.6	21.3	25.8	30.1	30.0	/	20.7	/	12.6	19.6
diff	/	/	2.8	0.8	0.3	2.6	1.6	2.3	/	-1.2	/	2.7	0.5

Annaba

Date de	/	/	/	1980	1992	1992	1981	1985	1980	1985	/	/	1981
Moy	/	/	/	13.3	15.6	21.3	22.5	24.0	21.7	18.7	/	/	16.8
Moy	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Ao.	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann
diff	/	/	/	3.1	3.2	0.5	5.0	2.2	2.2	2.6	/	/	1.4

Mascara

Date de	/	/	/	1996	1998	1997	2002	1985	/	1998	/	/	1999
Moy	/	/	/	13.6	19.1	22.2	27.0	25.5	/	19.6	/	/	16.9
Moy	/	/	/	16.0	21.3	23.5	28.7	28.0	/	20.8	/	/	17.4
diff	/	/	/	2.4	2.2	1.3	1.7	2.5	/	1.2	/	/	0.5

Constantine

Date de	/	/	/	1997	1992	1992	1981	1985	/	1985	/	/	1986
Moy	/	/	/	12.3	13.3	21.0	23.5	24.1	/	14.8	/	/	15.7
Moy	/	/	/	13.9	17.7	23.2	27.6	26.8	/	17.3	/	/	16.1
diff	/	/	/	1.6	4.4	2.2	4.1	2.7	/	2.5	/	/	0.4

Conclusion Générale



Conclusion générale

L'objectif de ce travail est d'analyser l'évolution du climat du Nord de l'Algérie au niveau de 8 stations météorologiques à travers deux paramètres importants ; les précipitations et les températures sur une période d'observations allant jusqu'à soixante-dix ans.

Pour l'accomplir, nous avons défini une méthodologie pour chaque paramètre (pluie et température). Le test de tendance de Man-Kendall et le test de rupture de Pettitt ont été utilisés pour étudier leurs variabilités annuelles et mensuelles et rechercher l'existence d'une tendance ou d'un changement dans les séries temporelles des précipitations et des températures.

L'analyse de la variabilité temporelle des précipitations par le test de Man-Kendall a montré des tendances négatives significatives à Alger et Oran qui se traduisent respectivement par une baisse d'environ 20mm/décennie et 15 mm/décennie par contre les autres stations ne montrent aucune tendance significative à l'échelle annuelle.

L'analyse du régime pluviométrique par les tests de rupture a révélé une tendance à la baisse des précipitations, observée entre la fin des années 70 et début des années 80. Par contre, cette baisse n'est pas généralisée sur toute la zone d'étude ; les stations d'Alger et Oran enregistrent une baisse significative d'environ 30% A l'échelle annuelle, pour les autres stations aucune rupture du régime pluviométrique n'est observée.

L'analyse des températures annuelles montre une tendance à l'augmentation à partir des années 80 qui est associé à une hausse des températures mensuelles principalement entre Mars et octobre qui dépasse souvent 1°C. L'augmentation considérable des températures montre réellement l'impact des activités anthropiques à travers l'augmentation des gaz à effet de serre, tel expliqué par le GIEC (2014) qui prévoit une augmentation de plus de 4°C d'ici la fin du 21^{ème} siècle.

Ainsi, ses 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 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



Références

- A1247e02.pdf*. (s. d.). Consulté 8 septembre 2022, à l'adresse <https://www.fao.org/3/a1247e/a1247e02.pdf>
- Achite, M., & Caloiero, T. (2021). Analysis of temporal and spatial rainfall variability over the Wadi Sly basin, Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(18), 1867. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08221-w>
- Amina, D., & Houda, A. N. E. (2018). *Analyse et cartographie de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques dans le bassin de l'Algérois*. <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/2393>
- Bekkoussa, B., Meddi, M., & Jourde, H. (2008). Climatic and anthropic forcing on groundwater resources in a semiarid area: The case of the Ghriss plain, north western Algeria. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 19(3), 173-184. <https://doi.org/10.1684/sec.2008.0134>
- Boudiaf, B., Şen, Z., & Boutaghane, H. (2021). Climate change impact on rainfall in north-eastern Algeria using innovative trend analyses (ITA). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 511. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06644-z>
- Bouklikha, A., Habi, M., Elouissi, A., & Hamoudi, S. (2021b). Annual, seasonal and monthly rainfall trend analysis in the Tafna watershed, Algeria. *Applied Water Science*, 11(4), 77. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01404-6>
- Caloiero, T., Caloiero, P., & Frustaci, F. (2018a). Long-term precipitation trend analysis in Europe and in the Mediterranean basin. *Water and Environment Journal*, 32(3), 433-445. <https://doi.org/10.1111/wej.12346>
- Carte Algérie | Carte de l'Algérie*. (s. d.). Consulté 8 septembre 2022, à l'adresse <https://fr.mapsofworld.com/afrique/algerie/>
- Design Trend Mann-Kendall*. (s. d.). Consulté 8 septembre 2022, à l'adresse https://vsp.pnnl.gov/help/vsample/design_trend_mann_kendall.htm
- Doko, A., Fyshku, A., Krasniqi, S., Erebara, A., & Kopali, A. (2021). *Analysis of climatic variations and the ability of organic farming systems to adapt to climate change in the Northern Western Lowlands—Shkodra area in Albania*. 3, 6.
- DRAOUI Amina & ARRADJ Nour El Houda. (2017). *Analyse et cartographie de la variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques dans le bassin de l'Algérois*. 58.
- Drogoudi, P., Kazantzis, K., Kunz, A., & Blanke, M. M. (2020). Effects of climate change on cherry production in Naoussa, Greece and Bonn, Germany: Adaptation strategies.



- Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 5(1), 12.
<https://doi.org/10.1007/s41207-020-0146-5>
- Géographie de l'Algérie. (2022). In *Wikipédia*.
https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=G%C3%A9ographie_de_l%27Alg%C3%A9rie&oldid=196232361
- Hadi, S. J., & Tombul, M. (2018). Long-term spatiotemporal trend analysis of precipitation and temperature over Turkey. *Meteorological Applications*, 25(3), 445-455.
<https://doi.org/10.1002/met.1712>
- Hallouz, F., Meddi, M., Mahe, G., Karahacane, H., & Ali Rahmani, S. (2019b). Tendance des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : Bassin versant de l'oued Mina en Algérie. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 32(2), 83-114. <https://doi.org/10.7202/1065202ar>
- Harkat, S., & Kisi, O. (2021). Trend analysis of precipitation records using an innovative trend methodology in a semi-arid Mediterranean environment: Cheliff Watershed Case (Northern Algeria). *Theoretical and Applied Climatology*, 144(3-4), 1001-1015.
<https://doi.org/10.1007/s00704-021-03520-4>
- Jemai, H., Ellouze, M., Abida, H., & Laignel, B. (2018b). Spatial and temporal variability of rainfall: Case of Bizerte-Ichkeul Basin (Northern Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 11(8), 177. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3482-x>
- Markonis, Y., Batelis, S. C., Dimakos, Y., Moschou, E., & Koutsoyiannis, D. (2017). Temporal and spatial variability of rainfall over Greece. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(1), 217-232. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1878-7>
- Mrad, D., Yassine, D., & Yahia, H. (2018). Analysis of trend rainfall: Case of North-Eastern Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 36, 105-115.
<https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0011>
- MsSA18_AHA_Draoui_Arradj.pdf*. (s. d.). Consulté 21 novembre 2022, à l'adresse
http://dspace.univ-km.dz/jspui/bitstream/123456789/2393/1/MsSA18_AHA_Draoui_Arradj.pdf
- Nashwan, M. S., Shahid, S., & Abd Rahim, N. (2019). Unidirectional trends in annual and seasonal climate and extremes in Egypt. *Theoretical and Applied Climatology*, 136(1), 457-473. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2498-1>
- Raymond, F., Ullmann, A., & Camberlin, P. (2016). Précipitations intenses sur le Bassin Méditerranéen: Quelles tendances entre 1950 et 2013? *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27410>



- Remini, B. (2010). *LA PROBLEMATIQUE DE L'EAU EN ALGERIE DU NORD*.
- Taïbi, S., Meddi, M., Doudja, S.-G., & Mahe, G. (2013). Evolution and regionalization of precipitation in northern Algeria (1936-2009). *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, 359, 191-197.
- Tolika, K., Maheras, P., & Anagnostopoulou, C. (2018). The exceptionally wet year of 2014 over Greece : A statistical and synoptical-atmospheric analysis over the region of Thessaloniki. *Theoretical and Applied Climatology*, 132(3), 809-821. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2131-8>
- Trend Analysis | NCAR - Climate Data Guide*. (s. d.). Consulté 8 septembre 2022, à l'adresse <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data-tools-and-analysis/trend-analysis>
- Ünal, Y. S., Sonuç, C. Y., Incecik, S., Topcu, H. S., Diren-Üstün, D. H., & Temizöz, H. P. (2020). Investigating urban heat island intensity in Istanbul. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1), 175-190. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02953-2>
- Zeleňáková, M., Abd-Elhamid, H. F., Krajníková, K., Smetanková, J., Purcz, P., & Alkhalaf, I. (2022b). Spatial and Temporal Variability of Rainfall Trends in Response to Climate Change—A Case Study : Syria. *Water*, 14(10), 1670. <https://doi.org/10.3390/w14101670>