



## **Remerciement :**

Je remercie Dieu le tout puissant pour m'avoir donné le courage de mener à terme ce travail. Je tiens tout d'abord à exprimer mon remerciement vraiment à mon encadreur, Madame AIT MANGELLET ZOULIKHA.

Je remercie vivement Mme GOURINE pour leur acceptation de faire ce Master.

Je remercie vivement Monsieur le Professeur GHODBANI TARIK. qui accepté de présider ce Jury.

Je remercie vivement Monsieur le Professeur BLLAL SID AHMED. qui accepté d'examiner mon travail.

Je dédie cette thèse À Mes chers parents Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon instruction et mon bien être. Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Incha'Allah, vous accorder la santé, le bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

A Mes chers frères Raouf, Hamoud, Loulou je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.

A Ma cher sœur Inès je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde. A toute la famille.

## Résumé :

L'Ouest algérien a été le lieu dès la fin des années 1970 d'une sécheresse caractérisée par une sévérité, une ampleur et une persistance du déficit pluviométrique remarquables.

L'Oranie, notre zone d'étude en fait partie. L'objectif principal de cette étude est de décrire les précipitations extrêmes à l'Oranie qui montrent la variabilité spatiotemporelle, l'approche utilisée est purement statistique en exécutant plusieurs méthodes et le biais de différents outils tel que le logiciel R.

Les indices des extrêmes climatiques de précipitation ont une tendance à la hausse non significative au cours de la période d'observation (2002-2023) calculée à partir du logiciel Rclimdex.

Les représentations graphiques de l'indice SPI indiquent qu'au cours de notre période l'Oranie a connu une alternance de périodes sèches et humides.

*Mots-clés : L'Oranie, variabilité spatiotemporelle, statistique, logiciel R, Rclimdex, annuelle, SPI, extrêmes climatique.*

## **Abstract:**

Since the end of 1970s, western Algeria has been the site of a drought characterized by remarkable severity, extent and persistence of the rainfall deficit.

The Oranie our study area is one of them. The main objective of this study is to describe the spatiotemporal variability in Oranie, the approach used is purely statistical by carrying out different methods and tools such as the R software.

The indices of climatic extremes of precipitation have a non-significant upward trend calculated from the Rclimindex software.

The graphical representations of the SPI index show that during our period, The Oranie experienced alternating dry and wet periods.



<b>Sommaire :</b>	
<b>Remerciement</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Introduction générale .....</b>	<b>02</b>

## **Chapitre I : Aperçu bibliographique**

I.1 Introduction .....	06
I.2 Le climat.....	06
I.3 Le climat en Algérie .....	07
I.4 Le changement climatique .....	08
I.5 Impact du changement climatique sur l'Algérie .....	09
I.6 La variabilité climatique .....	12
I.6.1 La différence entre variabilité et changement climatique .....	12
I.6.2 La variabilité climatique en Algérie .....	12
I.7 Etude des précipitations .....	14
I.7.1 Origine des précipitations .....	14
I.7.2 Les mesures de précipitation.....	14
I.7.3 Régime pluviométrique .....	15
I.7.4 Détection de ruptures et étude de tendance au sein des séries pluviométriques.....	15
I.7.5 Répartition des précipitations dans le monde .....	15
I.7.6 Le rôle de l'altitude et de la latitude sur les hauteurs pluviométriques en Algérie .....	17
I.8 La sécheresse .....	18
I.8.1 Définition.....	18
I.8.2 Les différents types de sécheresse.....	18
I.8.3 Relation entre les différents types de sécheresse.....	20
I.8.4 Phénomène de la sécheresse en Algérie .....	20

I.9 Conclusion.....	21
---------------------	----

## **Chapitre II : Présentation de la zone d'étude**

II.1 Introduction.....	23
II.2 Situation géographique .....	23
II.3 Cadre géologique.....	24
II.4 Le relief.....	25
II.5 Cadre climatique.....	26
II.6 La végétation de l'Oranie .....	27
II.6.1 La série du Chêne Liège.....	29
II.6.2 La série de l'Oléo-lentisque.....	29
II.6.3 La série du Thuya de Berbérie.....	30
II.6.4 La série du Chêne Vert.....	30
II.6.5 La série du Pin d'Alep.....	30
II.6.6 La série Halophile .....	31
II.7 Réseau hydrographique de l'Oranie .....	31
II.8 Conclusion .....	35

## **Chapitre III : Méthodes d'investigations**

III.1 Données et méthodes d'approche.....	37
III.1.1 Introduction .....	37
III.1.2 Collecte des données.....	37
III.1.3 Méthodes d'analyse.....	38
III.1.4 Analyse du phénomène de sécheresse (Par l'indice SPI).....	39
III.2 Résultats et interprétations .....	41
III.2.1 Variabilité des indices des extrêmes des précipitations.....	41

Indice (PRCPTOT).....	41
Indices (CWD) et (CDD).....	42
Indices (Rx1day) et (Rx5day).....	44
Indices (R95p) et (R99p).....	46
Indice pluviométrique standardise SPI.....	48
III.2 Conclusion.....	51
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>53</b>



## Liste des figures :

### Chapitre I :

- Figure 1** : Les différentes zones géographiques en Algérie (meteo Algérie) ..... 08
- Figure 2** : répartition des précipitations moyennes annuelles dans le monde (ANDRE Hufty, 2001) ..... 16
- Figure 3** : Relation entre les différents types de sécheresse..... 20

### Chapitre II :

- Figure 4** : La région de l'Oranie algérien (source: wikipedia ) ..... 24
- Figure 5**: Les grandes entités naturelles dans l'Ouest algérien (Oranie)(Source D'après la carte topographique Oran 1/500.000 INC (1988), conception T .Ghodbani.)..... 26
- Figure 6** : Carte climatique d'Algérie (Source Agence Nationale Aménagement du territoire, 2004)..... 27
- Figure 7** : Carte de Végétation de l'Oranie (1/500.000, Alcaraz, 1982)..... 28
- Figure 8** : Région hydrographique Oranie..... 32

### Chapitre III :

- Figure 9** : les stations météorologiques choisies ..... 37
- Figure 10** : Variation interannuelle et tendance linéaire de l'indice PRCPTOT ..... 42
- Figure 11** : Variation annuelle et tendance linéaire des indices CWD et CDD..... 44
- Figure 12** : Variation annuelle et tendance linéaire des indices Rx1day et Rx5day..... 46
- Figure 13** : Variation annuelle et tendance linéaire des indices R95p et R99p..... 48
- Figure 14** : Evolution de SPI dans la période (2002,2023) ..... 50

## Liste des tableaux :

### Chapitre III :

**Tableau 1 :** Présentation des stations pluviométrique ..... 37

**Tableau 2 :** Indices des extrêmes des précipitations et des températures journalières ..... 38

**Tableau 3 :** Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation

Standardisé (McKee et al 1993) .....



# *Introduction générale*

Au-delà de la grande polémique sur les causes réelles des dérèglements climatiques contemporains (DUPLESSY, 2001; LEROUX, 2007; SVENSMARK et FRIIS-CHRISTENSEN, 2007) l'augmentation des températures qui est observée par une grande majorité de stations dans le monde constitue un fait indéniable et confirme ainsi la réalité du réchauffement climatique mondial (CHRISTENSEN et al. 2007 in Hallouz. F et al, 2019).

Située sur la rive méridionale du bassin méditerranéen, l'Algérie est un vaste territoire, de près de 2,5 millions de kilomètres carrés, qui s'étend vers le sud jusqu'à la latitude de 18°57' Sud. Les trois quarts de l'espace algérien sont soumis aux influences climatiques hyperarides, arides et semi-arides.

Les plaines littorales (1 200 km d'est en ouest) sont séparées des hautes plaines et des hauts plateaux de l'intérieur par le grand massif de l'Atlas tellien et bénéficient ainsi d'un climat moins torride et plus humide.

La répartition spatiale des pluies sur cette longue bande de l'Algérie du Nord oppose un littoral oriental, relativement bien arrosé, aux plaines de l'Ouest, plus sèches (NOUACEUR et al., 2013).

Le pays a toujours été confronté à des phénomènes extrêmes : des sécheresses périodiques parfois sévères et persistantes, et des crues avec des inondations qui se manifestent, le plus souvent, de façon catastrophique. Cette problématique fait l'objet de nombreuses études en Algérie et dans le bassin méditerranéen. ALPERT et al. (2002) ont examiné les données de 256 stations couvrant les cinquante dernières années sur toute la région méditerranéenne.

Ils ont détecté, d'une part, une tendance négative dans les précipitations totales qui est associée à une diminution du nombre des jours pluvieux et une augmentation de la durée des périodes de sécheresse et, d'autre part, une tendance positive dans l'intensité des précipitations extrêmes. Ainsi ; la variabilité climatique est un phénomène planétaire qui touche beaucoup de pays dans le monde selon les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [GIEC, 2013].

La pluviométrie est un élément fondamental du climat. Son importance est telle que les différentes classifications du climat reposent essentiellement sur la moyenne annuelle ou mensuelle des précipitations, en combinaison avec les moyennes et/ou les extrêmes de température.

Les inondations et les sécheresses extrêmes peuvent provoquer des pertes économiques et des dommages écologiques et environnementaux. Bien que l'augmentation des précipitations puisse renforcer la production agricole et l'approvisionnement en eau, mais si cette augmentation est associée à des événements de précipitations extrêmes, elle peut provoquer des effets tels que les inondations et les retards dans la récolte.

D'autre part, une diminution des précipitations pourrait provoquer de longues périodes de sécheresse qui sont associées à l'apparition des pénuries d'eau et l'exposition aux risques d'incendie.

### **Problématique**

L'Algérie a connu, au cours de ces trente dernières années, une variabilité pluviométrique importante dans l'espace et dans le temps. Cette variabilité, caractérisée par un important déficit pluviométrique, a eu un impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages, dont les conséquences sont souvent catastrophiques sur le développement socioéconomique du pays.

Le climat algérien est marqué par une irrégularité des précipitations et une instabilité des saisons. Il arrive même, et ceci est de plus en plus fréquemment, qu'il ne tombe aucune pluie pendant plus d'un mois en dehors de la saison estivale.

Certaines années par contre, sont caractérisées par des précipitations abondantes, provoquant des inondations parfois catastrophiques, comme au cours des années 1935, 1974, 1996, 1999, 2001 et 2010 [Medejerab 2011].

Le présent travail a pour but d'analyser la variabilité spatiale et temporelle des différents indices relatifs aux extrêmes pluviométriques en Oranie sur une période de 22 années (2002-2023). Quatre stations de référence ont été utilisées pour cette analyse en occurrence les données relatives à la station de Sénia ( dans la wilaya d'Oran pour la zone littorale, la station de Zenata dans la wilaya de Tlemcen et la de Mostaganem et la station météorologique de GHRISS dans la wilaya de Mascara pour les hautes plaines intérieures et les données pluviométriques relatives à la station de Tiaret et Saida pour les hauts plateaux .

Différents indices ont été utilisés pour caractériser la variabilité des précipitations à savoir : L'analyse des indices des extrêmes de précipitations : Les indices calculés des 6 stations pluviométriques présentent des séries chronologiques annuelles.

Une seule valeur de chaque indice est définie pour une seule année à partir de la valeur journalière de la base de données. L'analyse à long terme de ces indices a été effectuée au moyen de la méthode de Mann-Kendall Modifié (MMK) (Hamed and Ramachandra Rao 1998).

Indice pluviométrique standardisé (SPI) : SPI mesure les anomalies de précipitations par rapport à la moyenne historique. Les valeurs positives à Oran indiquent des périodes humides, tandis que les valeurs négatives indiquent des périodes sèches Le présent travail a été subdivisé en trois chapitres :

## *Introduction générale*

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique sur le climat en général et sur la variabilité climatique en occurrence les précipitations extrêmes.

Le second chapitre est une description et une présentation de la zone d'étude.

Dans le troisième chapitre, on a traité les méthodes d'investigations à savoir les méthodes utilisées ainsi que les résultats obtenus suite à l'application de différents indices et leurs interprétations.

Enfin une conclusion générale sera dégagée suite aux résultats obtenus.

*Chapitre I :*  
*Aperçu bibliographique*



## **I.1. Introduction :**

En raison de leurs répercussions immédiates et durables sur le milieu naturel et sur l'homme, les questions de changement et de variabilité climatiques sont placées depuis quelques temps au centre des préoccupations des scientifiques et des décideurs politiques dans le monde.

Le cycle de l'eau étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de ces changements sur les régimes pluviométriques sont importantes.

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat.

Caractériser l'impact de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers devient alors indispensable pour proposer des solutions adaptées aux projets de développement face aux changements climatiques et ces conséquences sur les différents écosystèmes.

## **I.2. Le climat :**

Le climat, d'après l'organisation météorologique mondiale (OMM), est défini comme étant « la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère » [OMM, 2011].

La variation des paramètres météorologiques que sont les précipitations, les températures, les vents, l'ensoleillement, etc. d'une saison à une autre ou d'une année à une autre fait partie du climat.

Cette variation naturelle reste stationnaire à long terme. Sur terre, le climat a énormément évolué depuis que celle-ci existe. Il est passé par plusieurs périodes glaciaires et interglaciaires. Des périodes de réchauffement et de refroidissement se sont alternées jusqu'à notre ère.

La température a fluctué pour se stabiliser à partir de 5000 ans autour des valeurs actuelles [Jaques et Le Truet, 2004]. C'est le soleil et son rayonnement qui est la principale source qui conditionne le climat sur la terre.

La trajectoire elliptique du mouvement de la terre autour du soleil et l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre autour d'elle-même font que les différentes parties de la terre ne reçoivent pas la même quantité de chaleur

en fonction du temps. Cette différence fait que le sol, les océans et l'atmosphère ne sont plus à la même température.

En conséquence, des processus d'échanges se produisent continuellement provoquant les circulations atmosphériques et océaniques. Ces derniers sont dus au fait que la nature cherche toujours à tendre vers l'équilibre.

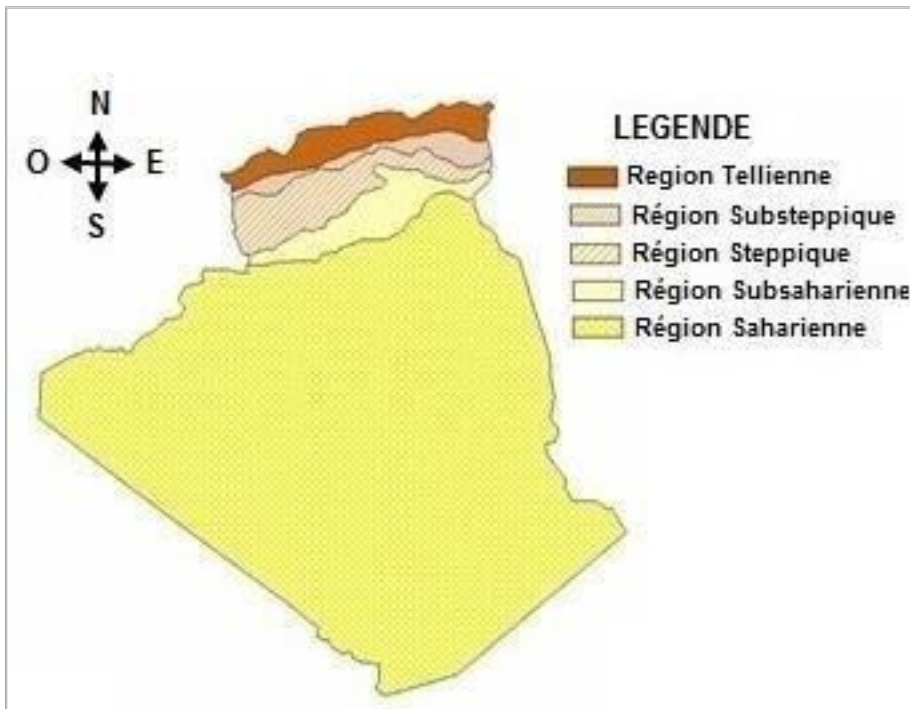
### **I.3. Le climat en Algérie :**

De par sa position géographique, l'Algérie est soumise à des climats très variés en relation avec différents faciès géographiques (Figure I.1). Dans le littoral Nord, il règne un climat typiquement méditerranéen avec des étés secs et chauds et des hivers tempérés et humides. Les précipitations tombent généralement en hiver et au printemps et les températures sont très élevées en été.

L'Est et le Centre du pays sont beaucoup plus arrosés que l'Ouest à cause des effets écrans produits par les chaînes montagneuses du Maroc et de l'Espagne et qui limitent les effets des vents océaniques. Dans cette région, il règne un climat semi-aride avec une variabilité très marquée des précipitations.

Le Sud du pays appartient à la zone climatique chaude. C'est le Sahara, caractérisé par un climat désertique où les températures sont très élevées en été, beaucoup plus fraîches en hiver et avec une quasi-absence des précipitations. Des vents de sables sont régulièrement observés particulièrement vers la fin du printemps. La densité de la population est aussi faible dans cette région.

D'une manière plus générale, il existe différents bioclimats allant de l'humide au nord jusqu'au saharien à l'extrême sud relatifs à la quantité de pluies et aux températures.



**Figure 1 :** Les différentes zones géographiques en Algérie (Source : [www.meteoalgerie.com](http://www.meteoalgerie.com)).

#### **I.4. Le changement climatique :**

Le changement climatique est défini comme étant la variation de l'état du climat par des modifications de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période, généralement pendant des décennies ou plus [GIEC, 2014].

Les changements climatiques peuvent être dus à des processus internes naturels ou à des forçages externes, notamment les modulations des cycles solaires, les éruptions volcaniques ou des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres.

La communauté scientifique parle actuellement de réchauffement climatique au lieu de changement. Ce réchauffement est, selon le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) institué par l'ONU pour synthétiser les études scientifiques à ce sujet, sans équivoque [GIEC, 2007].

Ce réchauffement est reconnu par la majorité des états de la planète [UNESCO, 2014] et qu'il y avait une probabilité de 5 % pour que les activités humaines ne soient pas à l'origine de la majeure partie de ce réchauffement.

Ce sont surtout les émissions des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et méthane (CH<sub>4</sub>)) dues à l'activité industrielle qui sont jugées responsable [GIEC, 2007].

En effet, la concentration moyenne de ce dernier dans l'atmosphère mesurée entre 1995 et 2005 a progressé annuellement 9500 fois plus vite que sur les 650000 ans précédents [Salomon et al., 2007 cités par Keller et al., 2011].

Il faut noter que la combustion des énergies fossiles participe à plus de la moitié dans les émissions du gaz carbonique dans l'atmosphère.

Selon l'organisation météorologique mondiale, la décennie 2001-2010 est la plus chaude qui ait été constatée depuis que les paramètres météorologiques ont commencé à être mesurés de façon systématique à partir de 1873 [OMM, 2013].

Néanmoins, il reste encore des scientifiques ou des états qui émettent des réserves sur les études publiées et les interprétations qui y sont déduites. D'abord parce que le climat de la terre a connu depuis la formation de cette dernière plusieurs fluctuations. Ensuite, parce que les mesures standardisées des variables climatiques n'ont commencé qu'à partir de la naissance de l'organisation météorologique internationale en 1873. Avant cette date, les appareils de mesure étaient peu nombreux, de qualité discutables et que les mesures n'étaient pas effectuées d'une manière normalisée [Edwards, 2012].

### **I.5. Impact du changement climatique sur l'Algérie :**

Parmi les pays du Maghreb, l'Algérie semble être le pays le plus vulnérable vis-à-vis de la sécheresse et du changement climatique. Le pays arrivait difficilement à couvrir les besoins en eau potable de la population, ce qui l'a contraint à s'orienter vers une politique de dessalement de l'eau de mer [Kettab, 2001].

La centaine de barrages qui mobilise les eaux de surfaces se remplissaient mal et font face à un envasement continu, une évaporation excessive et des fuites non négligeables [Remini et al., 2009 ; Touati, 2010]. Ce faible taux de remplissage est dû essentiellement à une sécheresse qui s'est installée dans le pays depuis la fin des années 70. Ce constat est confirmé par de nombreuses études publiées dans la littérature scientifique.

Se basant sur 102 stations pluviométriques réparties sur le Nord du pays et s'étalant de 1936 à 2009, Taibi et al. [Taibi et al., 2013] montrent que tout ce territoire a vu ses précipitations chuter à partir du début des années 70.

Le pourcentage de chute varie de 16% à 42% en fonction de la région d'appartenance de la station. Quant aux températures, elles ont connu une augmentation de l'ordre de 0,5°C à partir des années 80.

Ce résultat est confirmé par Ghenim et Megnounif en utilisant moins de stations mais pour une période plus longue, de 1914 à 2009 [Ghenim et Megnounif, 2013].

A l'Est du pays, Khoualdia et al. [Khoualdia et al., 2014 ; Khoualdia, 2015], en étudiant le bassin du cours d'eau de Medjerda, ont mis en évidence une variabilité climatique caractérisée par une alternance de phase humide et de phase sèche.

La décennie des années 70 est jugée humide, les décennies 80 et 90 sont plutôt sèches. Un retour des précipitations est noté à partir de la décennie 2000.

Le déficit pluviométrique s'est traduit par une baisse importante de l'écoulement de la Medjerda. Cette baisse est due principalement à la diminution des pluies de printemps et plus particulièrement celles de l'hiver.

Ce qui est l'une des conséquences du changement climatique à savoir l'instabilité des saisons

Dans cette même étude, les températures et l'évapotranspiration présentent des tendances à la hausse, les pluies et les débits présentent des ruptures mais décalées dans le temps.

Pour le bassin de Seybousse, Balah et Amarchi [Balah et Amarchi, 2016] arrivent aux mêmes conclusions à quelques nuances près. Sachant que le cours d'eau prend naissance près de Guelma pour se jeter en Méditerranée près d'Annaba, les ruptures sont décelées au Nord.

Au Sud, une bonne partie des stations pluviométriques présentent des tendances à la hausse.

Dans le centre du pays, Chourghal a étudié les régions d'Alger et de Bordj Bou Arreridj [Chourghal, 2016]. Les précipitations présentent une tendance à la baisse alors que les températures présentent une tendance à la hausse.

La variabilité des précipitations est très forte avec une augmentation des pluies à l'automne et une diminution au printemps, ce dernier devenant de plus en plus sec. Ces modifications ont une incidence directe sur le rendement des cultures particulièrement celle du blé.

Dans l'Ouest du pays, la sécheresse a été plus persistante et plus sévère. Les diverses études le montrent. Medejerab et Henia [Medejerab et Henia, 2011] ont sélectionné 11 stations pluviométriques réparties sur tout le Nord-Ouest du pays. Les séries de données qui s'étalent de 1915 à 1990 présentent 50% d'années sèches ou très sèches.

En réalisant des représentations des pluies par décades, les auteurs notent que les isohyètes migrent de plus en plus vers le Nord indiquant une diminution globale des précipitations.

Ces résultats sont confirmés par Meddi H. et Meddi M. [Meddi H., Meddi M., 2009] qui ont utilisé 26 stations qui s'étalent sur 64 ans (1940/1941 – 2003/2004). Parmi ces stations, certaines présentaient des tendances à la hausse à la fin du 20<sup>ième</sup> siècle.

Du côté de Chlef, Hallouz et al., [Hallouz et al., 2018] ont étudié le bassin de Oued Mina, affluent de Oued Cheliff. Ils notent que la variabilité des précipitations et des débits est très forte.

Les tests statistiques font ressortir une rupture dans les séries des précipitations vers l'année 1976 avec des diminutions de l'ordre de 20%. La rupture dans les séries des débits est notée vers l'année 1980. Les années récentes ne montrent pas de tendance nette.

Ces mêmes conclusions s'appliquent au bassin de Macta. En effet, sur la période 1976-2002, les lames d'eau écoulées annuelles moyennes sont de 28% à 36% plus faibles que sur la période 1949-1976.

Les valeurs moyennes des précipitations se révèlent plus faibles pour toutes les saisons, mais les écoulements sont peu ou pas diminués en automne [Meddi et al., 2009].

Pour le bassin versant de la Tafna, qui est situé au Nord-Ouest du pays, les études sont nombreuses et les conclusions vont toutes dans le même sens, c'est-à-dire une sécheresse qui s'est installée dans la région depuis la moitié des années soixante-dix.

Pour Ketrouci et Meddi [Ketrouci et Meddi, 2013], les diminutions des précipitations ont débuté au milieu des années 70 et ont atteint 40%. Les débits ont chuté à partir de 1981.

Ghenim et al. [Ghenim et al., 2010] ont étudié la partie du bassin drainée par le barrage Béni Bahdel. Les conclusions sont semblables, c'est-à-dire une diminution des précipitations vers 1974/1975 dans une proportion de 27% qui a donné une diminution des écoulements de 69%. Dans le bilan hydrologique, c'est l'évapotranspiration qui prédomine.

D'autres études complètent ces constatations. Hirche et al. [Hirche et al., 2007 ; Belala et Hirche, 2013] ont sélectionné des stations réparties dans des régions sahariennes, présahariennes et dans le Sud Oranais et dont les séries s'étalaient toutes du début du siècle jusqu'à l'année 2003/2004.

Les stations des régions sahariennes et présahariennes n'ont pas présenté de tendance significative malgré l'alternance des périodes sèches et des périodes humides. Par contre, les stations du Sud Oranais ont toutes présenté une diminution nette des précipitations particulièrement lors des trois dernières décennies.

D'autres conséquences peuvent être imputées à la sécheresse du bassin versant de la Tafna, l'échec de l'aménagement Souani en est un. C'est un aménagement hydraulique dont l'étude s'est basée sur une mobilisation des eaux par le barrage Béni Bahdel très favorable. Or, après la sécheresse des années soixante-dix, le projet n'a pas été achevé et n'est jamais rentré en service [Adjim et al., 2013].

## **I.6. La variabilité climatique :**

La variabilité climatique désigne des variations de l'état moyen et d'autres statistiques (écarts standards, phénomènes extrêmes, etc) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà des phénomènes climatiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des forçages externes anthropiques ou naturels (variabilité externe) [ONERC, 2007].

### **I.6.1 La Différence entre variabilité et changement climatique :**

En général, la variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra et interannuelle du climat, alors que les changements climatiques désignent un changement du climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui altèrent la composition de l'atmosphère globale et qui s'ajoutent à la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables [UNFCCC, 1992].

La Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC) fait une distinction entre les « changements climatiques » qui peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles, astronomiques et géophysiques, dont la compréhension des processus induits permet d'expliquer les variations climatiques passées, de quantifier les impacts anthropiques, et de produire des scénarios d'évolution future [ENS DE LYON, 2018].

### **I.6.2. La variabilité climatique en Algérie :**

L'Algérie se situe sous un climat de transition, entre la zone tempérée et la zone tropicale, cette position la met sous l'influence directe du climat méditerranéen au Nord et du climat désertique au Sud et constitue un point chaud (hot spot) du changement climatique.

Le rythme saisonnier est simple :

- En Été, l'Algérie est soumise à l'influence des hautes pressions subtropicales qui, en égard à latitude, donne des temps très chauds, très secs et tempérés, mais seulement, aux bords de mer.

- En Hiver, le retrait des hautes pressions vers des latitudes plus basses livre la région à la circulation zonale d'Ouest : le temps est plus frais et plus humide.

Cette circulation d'Ouest envahit le bassin méditerranéen, mais, en réalité, seules quelques perturbations atlantiques arrivent jusqu'au bassin méditerranéen, à cause des reliefs qui entravent l'écoulement de l'air.

Les deux tiers des perturbations activant dans la région sont d'origine locale. Elles sont dues à des circulations d'air polaire froid qui atteignent la Méditerranée et provoquent, au contact de ses eaux chaudes, une cyclogenèse active. Cet air froid qui touche le bassin méditerranéen progresse lentement vers le sud en saison froide.

Ainsi, s'expliquent la diminution progressive des pluies vers le sud et l'allongement de la saison sèche [Benyatou et Bouklikha, 2017].

- Au Nord, les précipitations diminuent du nord au sud et d'est en Ouest. Sur la bande littorale, le climat est tempéré, avec des hivers pluvieux ou très pluvieux, avec des moyennes pluviométriques annuelles pouvant atteindre plus de 1500 mm dans la région de Jijel et Bejaia.

Cette variation dans le nord dépend de la latitude, de l'altitude, de la continentalité et du relief. En outre, une dissymétrie très nette existe entre les versants, ceux qui sont exposés au nord sont les mieux arrosés et ceux qui le sont au sud sont les plus secs. La moyenne des températures varie entre 8°C et 15°C en hiver et, en moyenne, 25°C en juillet et août (26.5°C à Annaba, 26°C à Bejaia).

En Été, le sirocco, vent sec et chaud (baptisé le Chehili localement), souffle du Sahara en direction du nord durant la saison estivale, amenant des nuages de poussières et de sable vers les régions côtières [Azzi, 2011].

Le climat dans la région de l'Atlas tellien est aussi tempéré, mais plus froid à cause de l'altitude. Il est caractérisé par des précipitations plus importantes [Benyatou et Bouklikha, 2017].



## **I.7. Étude des précipitations :**

Représentent les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, sous forme liquide (bruine, pluie, averse) et/ou solide (neige, grésil, grêle) ainsi que les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,).

Elles correspondent à différents mécanismes d'ascendance (formation des nuages) et présentent des caractéristiques d'intensité et de durée diverses. La pluie est un phénomène associé aux systèmes nuageux précipitant, qui dépend de la microphysique des nuages mais aussi des mouvements atmosphériques à grande échelle [Berne, 2002]. Les précipitations sur les terres (800mm/an) proviennent à 40 % de l'évaporation à partir des océans et à 60 % à partir de l'évaporation au niveau des plans de l'atmosphère et du sol (Bennis, 2007).

### **I.7.1. Origine des précipitations :**

Les précipitations se produisent lorsque la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère se condense en nuages et retombe sur terre. Elles constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. Elles constituent un phénomène physique qui décrit le transfert d'eau dans sa phase liquide (pluie) ou solide (neige, grêle) entre l'atmosphère et le sol. Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression [Sadou S, Assoumane I.D, 2007].

### **I.7.2. La mesure de précipitations :**

La mesure des précipitations est simple à réaliser localement, mais une des plus complexe en météorologie, vue la forte hétérogénéité spatiale des précipitations, celles-ci sont exprimées en mm de hauteur d'eau et en intensité, mm/h. La quantité totale de précipitations atteignant le sol est représentée par l'épaisseur équivalente qu'aurait une lame d'eau uniforme sur une surface horizontale. La hauteur des précipitations est exprimée en mm et indique la quantité en litre sur une surface de un mètre carré [Harrang C, 1970, in Belarbi F 2010].

### **I.7.3. Régime pluviométrique :**

Pour identifier et classe les diverses régime pluviométrique du globe, on a habituellement recourt aux précipitations moyennes mensuelles ou annuelle (évaluées sur une longue période), et à leurs établie sur un grand nombre d'année (hauteur à un endroit donné).la notion de pluviométrie ne se réfère qu'aux caractères du climat moyen, et ne rend pas compte de la variabilité d'une année à l'autre de la pluviométrie, en un lieu donné et pour un mois donnée.

### **I.7.4. Détection de ruptures et étude de tendance au sein des séries pluviométriques :**

Une rupture peut être définie par un changement dans la loi de probabilité du variable ses aléatoires dont les réalisations successives déterminent les séries chronologiques étudiées. L'acception générale, mais surtout celle des hydrologues, en ce qui concerne les totaux annuels de précipitations, est que du point de vue stochastique, ceux-ci peuvent être considérés comme un processus stationnaire.

La caractéristique d'indépendance suppose quel cumul de précipitations d'une année n'est pas dépendant du total de précipitations enregistrées l'année précédente. La stationnarité suppose que les propriétés de base du processus (par exemple, son niveau moyen) ne changent pas avec le temps.

Cependant, plusieurs travaux récents signalent une situation inverse. On suppose que dans le contexte du réchauffement global actuel, l'espérance mathématique aussi bien que la variance de ce processus stochastique à l'échelle interannuelle ne seraient plus indépendantes du temps au temps.

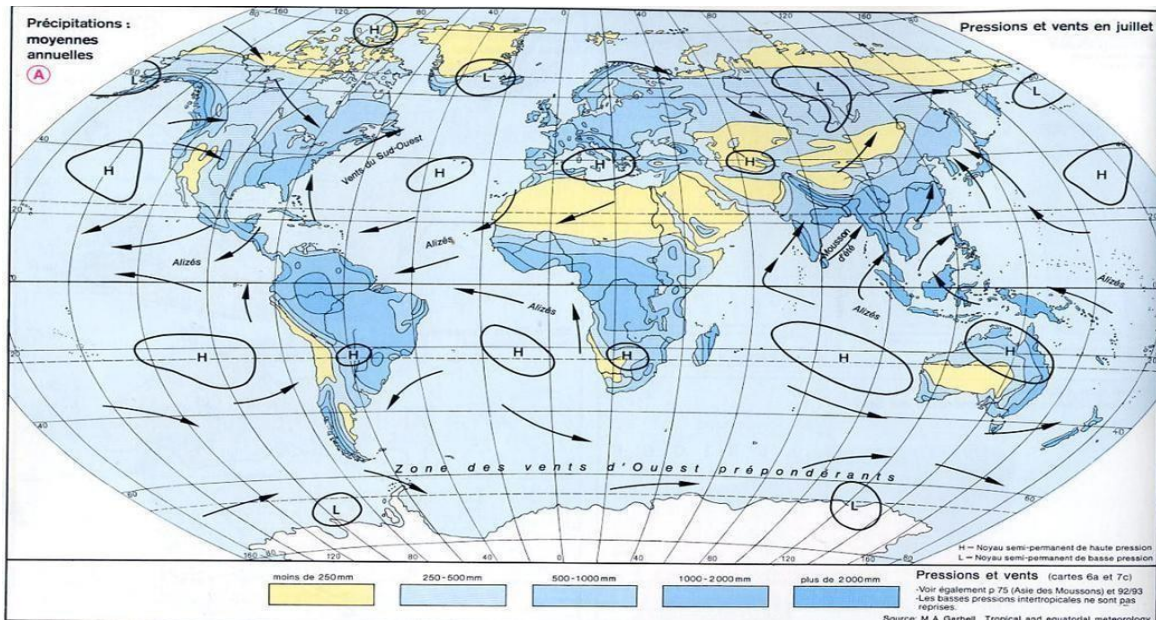
Les erreurs systématiques qui affectent d'une façon uniforme certaines portions des séries de mesure sont dues généralement au déplacement ou au changement d'environnement du pluviomètre pendant la période d'observation, à la croissance d'un arbre qui fait obstacle ou à la substitution pendant la période d'observations de l'éprouvette de lecture du pluviomètre par une autre inadéquate qui entraîne une forte hétérogénéité des séries pluviométriques [Heino R, 1996].

### **I.7.5 Répartition des précipitations dans le monde :**

#### **Les grandes zones :**

Pour qu'il pleuve, la nécessité de la présence d'une quantité de vapeur d'eau qui se renouvelle et d'une ascendance de l'air qui donne des nuages. Il y a trois zones de précipitations abondantes autour du globe :

- Une ceinture équatoriale, centrée un peu au Nord de l'Equateur, qui se prolonge sur les côtes Orientales de l'Amérique tropicale et sur l'Asie du Sud-Est.
  - Une bande zonale régulière entre 40° et 60° parallèles Sud, des zones orientées Sud- Ouest.
  - Sur les océans du Nord-Est entre 30° et 60° parallèle nord, qui se prolongent un peu sur les continents.
- Elles sont toutes associées à des perturbations cycloniques. (Figure 2)



**Figure 2 :** Répartition des précipitations moyennes annuelles dans le monde (ANDRE Hufty, 2001).

Il existe de vastes ensembles où les précipitations sont très faibles, inférieures à 250mm par an. D'une part les cellules des hautes pressions tropicales, centrées à l'Est des océans qui mordent sur les continents voisins avec une exception notable : la zone sèche saharienne qui se prolonge loin vers l'Est jusqu'au centre de l'Asie [Hufty.2001].

D'autre part, les déserts polaires et la plupart des toundras, qui correspondent à une quantité d'eau condensable inférieure au cm. Localement le relief vient perturber ces schémas.

En général, les façades exposées aux masses d'air maritimes reçoivent de grandes quantités d'eau. Les précipitations annuelles dépendent également des régimes pluviométriques qui, à l'échelle du globe, sont liés aux variations saisonnières de la circulation atmosphérique générale.

Dans les régions intertropicales, les saisons pluvieuses correspondent aux passages de la zone de convergence intertropicale, et les périodes sèches à l'influence proche ou lointaine des cellules de haute pression tropicale.

Dans les régions tempérées, il faut combiner les fréquences et la vigueur locales des dépressions cycloniques. Les régimes des précipitations devraient tenir compte de la forme, sous laquelle, elles tombent la même hauteur d'eau, peut provenir de la pluie ou de la neige, d'averses violentes ou de pluies fines continues, etc [Hufty.2001)].

### **I.7.6. Le rôle de l'altitude et de la latitude sur les hauteurs pluviométriques en Algérie :**

La pluviométrie en Algérie est sous l'influence des facteurs géographiques : l'altitude, la latitude, la longitude et l'exposition .en effet, la pluviosité augmente avec l'altitude, mais elle est plus élevée sur les versants exposés aux vents humides. Elle augmente également d'ouest en Est et à l'inverse elle diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers le sud [Haouchine S, 2011].

L'Algérie, qui est un pays soumis à l'influence conjuguée de la mer, du relief et de l'altitude, présente un climat de type méditerranéen extra tropical tempéré. Il est caractérisé par une longue période de sécheresse estivale variant de 3 à 4 mois sur le littoral, de 5 à 6 mois au niveau des Hauts Plains et supérieur à 6 mois au niveau de l'Atlas Saharien.

Les précipitations accusent une grande variabilité mensuelle et surtout annuelle. Cette variabilité est due à l'existence de gradients :

- Un gradient longitudinal : la pluviosité augmente d'Ouest en Est (450 mm/an à Oran plus de 1000 mm/an à Annaba). Ce gradient est dû à deux phénomènes : à l'Ouest, la Sierra Nevada espagnole et l'Atlas marocain agissent comme écran et éliminent ainsi l'influence atlantique, à l'Est, les fortes précipitations sont attribuées aux perturbations pluvieuses du Nord de la Tunisie.

- Un gradient latitudinal : les précipitations moyennes annuelles varient de 50mm dans la région du M'Zab à 1 500mm à Jijel. Cette diminution du littoral vers les régions sahariennes est due à la grande distance traversée par les dépressions qui doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlasiques.

- Un gradient altitudinal universel qui varie en fonction de l'éloignement de la mer.

## **I.8 La sécheresse :**

### **I.8.1. Définition :**

Le terme sécheresse est défini en 1975 par l'organisation mondiale de météorologie (OMM) comme suit « Un déficit, à long terme, de précipitations par rapport à la moyenne, affectant une grande zone pour une ou plusieurs saisons ou années, ce qui réduit considérablement la production primaire dans les écosystèmes naturels et agricoles ».

La sécheresse peut apparaître à n'importe quelle saison et peut coïncider avec la période de croissance des végétaux, en causant des déséquilibres écologiques et touchant les paramètres biophysique des surfaces tel que la température du sol et l'évapotranspiration [Ghulam et al., 2007 ; Reichstein et al., 2002]. Du même ce fléau peut se reproduire dans tous les régimes climatiques [Wilhite, 2000].

La sécheresse est considérée par plusieurs auteurs comme le phénomène le plus complexe mais le moins compris parmi tous les événements naturel [Hagman, 1984 ; Wilhite, 200 in Girish et al., 2015].

Plusieurs définitions conceptuelles ont classifié la sécheresse en quatre catégories majeures : météorologique, agricole, hydrologique et socioéconomique [Wilhite and Glantz, 1985].

### **I.8.2. Les différents types de sécheresse:**

La sécheresse est aussi définie selon les différents secteurs qui interagissent avec ses effets. On définit donc une sécheresse du point de vue météorologique, hydrologique, agricole ou socio-économique [FAO, juillet 1996].

#### **a- La sécheresse de type météorologique :**

Elle est généralement définie par un seuil correspondant à un certain déficit de précipitations sur une période de temps déterminée. Le seuil choisi (par exemple 75 % de la normale) et la durée de la période (par exemple six mois) varient d'un endroit à l'autre selon les besoins des utilisateurs ou les applications concernées. La sécheresse de type météorologique est un phénomène naturel dû à des causes multiples, qui varient d'une région à l'autre [OMM, 2006].

**b- La sécheresse de type agricole :**

Elle se définit plus volontiers par la présence dans le sol d'une quantité d'eau suffisante pour assurer la croissance des cultures et du fourrage que par l'écart des précipitations par rapport à la normale sur une période de temps déterminée. Il n'y a pas de relation directe entre la hauteur de précipitation et l'infiltration des précipitations dans le sol. Le taux d'infiltration varie en fonction des conditions d'humidité antérieures, de la pente de la nature du sol et de l'intensité des précipitations. Les sols ont aussi des caractéristiques variables: certains ont une faible capacité de rétention d'eau et sont donc plus sujets à la sécheresse de type agricole [OMM, 2006].

**c- La sécheresse de type hydrologique :**

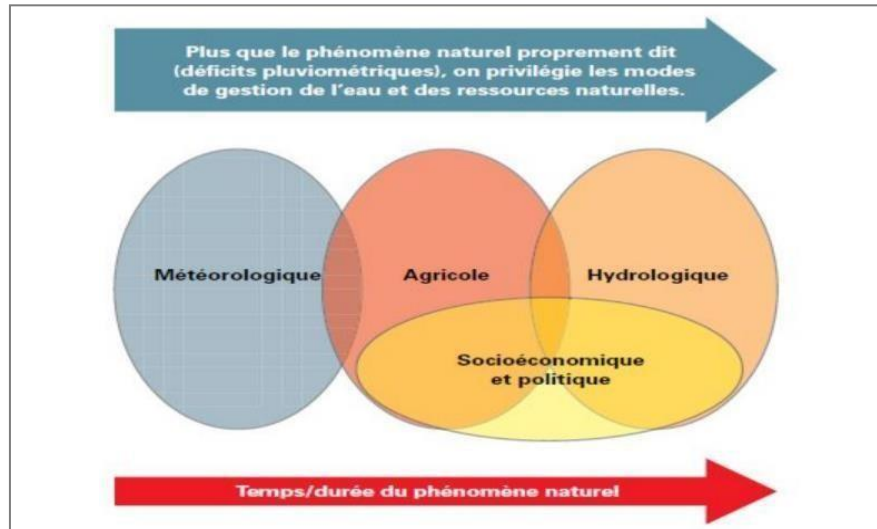
Elle correspond à une diminution des réserves d'eau dans les cours d'eau, les réservoirs de surface et la nappe phréatique. La sécheresse hydrologique est causée par un manque de précipitations accompagné d'une évaporation massive. Cependant, des facteurs non météorologiques, comme la demande en eau, la disponibilité de réservoirs de surface et le forage de puits artésiens, en aggravent l'effet [OMM, 2006].

**d- La sécheresse socio-économique :**

Elle diffère fortement des autres types de sécheresse du fait qu'elle reflète la relation entre l'offre et la demande de certaines denrées ou de certains biens économiques (i.e. grains, fourrage, énergie hydro-électrique..., etc) qui sont tributaires des précipitations [OMM, 2006].

### I.8.3. Relation entre les différents types de sécheresse :

Les relations entre ces différents types de sécheresse sont illustrées par la figure ci- dessous (Figure 3):



**Figure 3** : Relation entre les différents types de sécheresse (Source : Centre national de lutte Contre la sécheresse, Université du Nebraska–Lincoln, États-Unis d'Amérique).

### I.8.4. Phénomène de la sécheresse en Algérie :

Les plaines du centre et de l'ouest de l'Algérie sont connues pour leur fertilité et leur production agricole. Le déficit hydrique de ces dernières décennies a affecté négativement la production agricole ainsi que les réserves superficielles et souterraines en eau. La sécheresse est récurrente, omniprésente en raison de températures élevées et d'une pluviométrie très variable en région méditerranéenne [Meddi H, Meddi M. 2003]. Cas de l'Algérie ; il n'existe pas de structure particulière dédiée expressément à la sécheresse. Cependant, l'Office national de la météorologie (ONM) est l'institution spécialisée dans les observations et les études scientifiques du climat. L'ONM collecte, suit, analyse et diffuse toute donnée météorologique générale par le biais de bulletins périodiques réguliers et parfois de conjoncture (avis de tempête par exemple) [Amrani R, 2011].

## **I.9. Conclusion :**

Dans ce chapitre, il a été surtout question de montrer à travers une synthèse bibliographique la notion de variabilité climatique et de changement climatique qui sont deux phénomènes différents, la variabilité climatique dépend de plusieurs paramètres tels que les précipitations qui sont un élément indispensable pour la détermination du climat d'une région en combinaison avec la température. Pour cela de nombreuses études s'intéressent à l'analyse de la variabilité des précipitations.

Dans l'Algérie, l'impact du changement climatique a été sévèrement senti, surtout en ce qui concerne les pluies et ce qui en découle sur les écoulements de surface. Une sécheresse a touché pratiquement tout le territoire national avec une gravité particulière pour la région Nord-Ouest du pays.



***Chapitre II :***  
***Présentation de la zone d'étude***

## **II.1. Introduction :**

L'Oranie est une région socioculturelle de l'Ouest algérien comprenant tout le nord-ouest de l'Algérie et correspond approximativement aux wilayas suivantes : Oran, Aïn Témouchent, Mascara, Mostaganem, Relizane, Saïda, Sidi Bel Abbès, Tlemcen, Tiaret. La capitale de la région est la ville d'Oran.

En français, le terme Oranie vient de la ville d'Oran qui est une déformation de Wahran.

Le terme Oranie fut employé à l'origine de manière informelle pour nommer le département d'Oran de l'époque coloniale dans sa plus grande extension (avant la réforme territoriale de 1957).

Ce néologisme du xixe siècle, qui était répertorié dans les anciens dictionnaires<sup>6</sup>, n'a plus ce privilège, alors que son usage reste courant.

Historiquement, L'Oranie correspond dans une large mesure au territoire du Beylik de l'Ouest de la Régence d'Alger qui eut pour chefs-lieux successifs Mazouna, Mascara, Oran ; Beylik de l'Ouest qui a préfiguré l'ancien département d'Oran de l'époque coloniale<sup>7</sup>.

Plusieurs dynasties ont gouverné le Maghreb central à partir de villes d'Oranie telles Tahert et Tlemcen. L'Émir Abdelkader figure de la résistance algérienne contre le colonialisme est originaire d'El Guetna (région de Mascara). De même, le nationaliste Messali Hadj est originaire de Tlemcen.

Après la défaite de l'émir Abdelkader, la colonisation française a été plus forte que dans les autres régions du pays, et cela s'est traduit par la construction des villages de colonisation, l'implantation de la vigne et la littoralisation de la région.

L'Oranie correspond au Tell occidental, cependant certains lui ajoutent les wilayas du sud jusqu'à la wilaya de Béchar. C'est une région socioculturelle, mais elle n'est pas reconnue comme une unité administrative par l'état algérien. Sur le plan administratif, l'Oranie regroupe neuf wilayas : Oran, Tlemcen, Sidi bellabes, Mostaganem, Mascara, Ain Temouchent, Relizane et Tiaret.

## **II.2. Situation géographique :**

Cette région d'Algérie est limitée au nord, par la Mer Méditerranée sur un littoral de 400 km de longueur, à l'ouest, par le Maroc, au sud, par le Chott ech Chergui, et les hautes plaines du Sersou et à l'est, par les Monts de l'Ouarsenis et la vallée du bas-Chéelif.



**Figure 4 :** La région de l'Oranie algérien (Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Oranie>)<https://fr.wikipedia.org/wiki/Oranie>)

## II.2. Cadre géologique :

Le monde méditerranéen représente un véritable puzzle, tant par son modèle fragmenté et hétérogène à l'extrême que par sa géologie, qui est certainement l'une des plus complexes au monde (Quézel ; Médail, 2003).

La région Oranaise est donc très diversifiée, ses strates géologiques appartiennent aux quatre ères.

Les différentes formations géologiques de cette région s'étendent depuis l'âge primaire jusqu'au quaternaire. (BEHAR, 1990 in MANSOURI S, 2012).

Les schistes, d'âge primaire, constituent le substratum du massif des Traras. Ce sont des schistes gris-noirs se débitant en plaquettes. Leur altération donne des produits argileux (sols) de couleur brun-rouge. D'autres types de schistes d'âge secondaire forment ce qu'on appelle les massifs schisteux côtiers de l'Oranie.

Les monts d'Arzew, à l'ouest d'Oran ville, forment la montagne des Lions et surplombent la plage de Kristel et la partie septentrionale du Murdjadjo à l'Ouest de la ville.

Les calcaires, d'âge secondaire sont assez bien représentés dans l'Oranie. Ils forment le plus souvent des reliefs assez escarpés. Ces calcaires forment la partie méridionale du Murdjadjo.

Toujours au nord mais à l'est, le plateau de Mostaganem s'abaisse régulièrement vers l'ouest sur la plaine de la Macta et le golfe d'Arzew. Il surplombe régulièrement la mer et le bas Chélif par une falaise de 150 à 200 m au nord et au nord-ouest.

Les calcaires sont généralement clairs, le plus souvent compacts et massifs, leur altération donne presque toujours des sols blanchâtres crayeux. Le quaternaire est formé par du calcaire lacustre, argiles à lignites : couches rouges dues à la désagrégation des terrains pliocène qui se trouvent effectivement dans ce secteur.

En s'avancant de 100 km de la côte vers l'intérieur des terres se dressent les Monts de Béni-Chougrane et de Tessala qui forment l'un à la suite de l'autre une chaîne montagneuse.

Plus précisément les Monts de Tessala constituent un massif secondaire de calcaire nummulitique (protozoaires fossiles) à structure complexe d'une cinquantaine de kilomètres de longueur ; ces monts sont des terrains créacés formés par des calcaires gréseux devenant plus argileux en profondeur.

Les monts des Béni-Chougrane sont constitués en grande partie par une série de plateau miocène de 700 à 800 m d'altitude.

En descendant vers le sud se dressent à nouveau des monts séparés par les hautes plaines de Bel-abbés (400 m) celle de Ghriss au sud de Mascara. Les monts de Saïda et de Daya appartiennent à l'atlas Tellien tabulaire.

### II.3. Le relief :

L'Oranie est composée naturellement de sahels, de plaines littorales et sub-littorales, de chaînes montagneuses, de bassins intérieurs et, enfin, d'une vaste zone steppique. (Figure 5)

En Oranie, l'Atlas tellien ne constitue pas une chaîne de montagnes continue. Il est découpé au voisinage de la mer par une série de plaines sub-littorales de Mostaganem à Aïn Témouchent.

Entre ces plaines se dressent les petites hauteurs du Sahel oranais, qui tombent à pic dans la mer et forment une côte abrupte et rocheuse : les baies (Oran, Arzew) sont rares et peu abritées, à l'exception notable de la rade de Mers el-Kébir. Au sud de ces collines du Sahel se trouvent des petits massifs montagneux, plus élevés : Monts du Tessala, les Monts de Tlemcen, de des Beni-Chougrane, des Trara et du Dahra.



Ceci d'une manière irrégulière de l'automne au printemps, à des dates et en quantités très variables suivant les années, mais privilégiant toujours les massifs montagneux par rapport aux régions voisines.

En Été, le Sirocco, un vent très sec et très chaud, se dirige du sud vers le nord. Dans le sud de la région le climat est semi-aride.

En effet le climat en général, en Oranie varie entre le semi-aride et aride avec une aire bioclimatique du sub humide au nord des Monts de Tlemcen. (Figure 6)

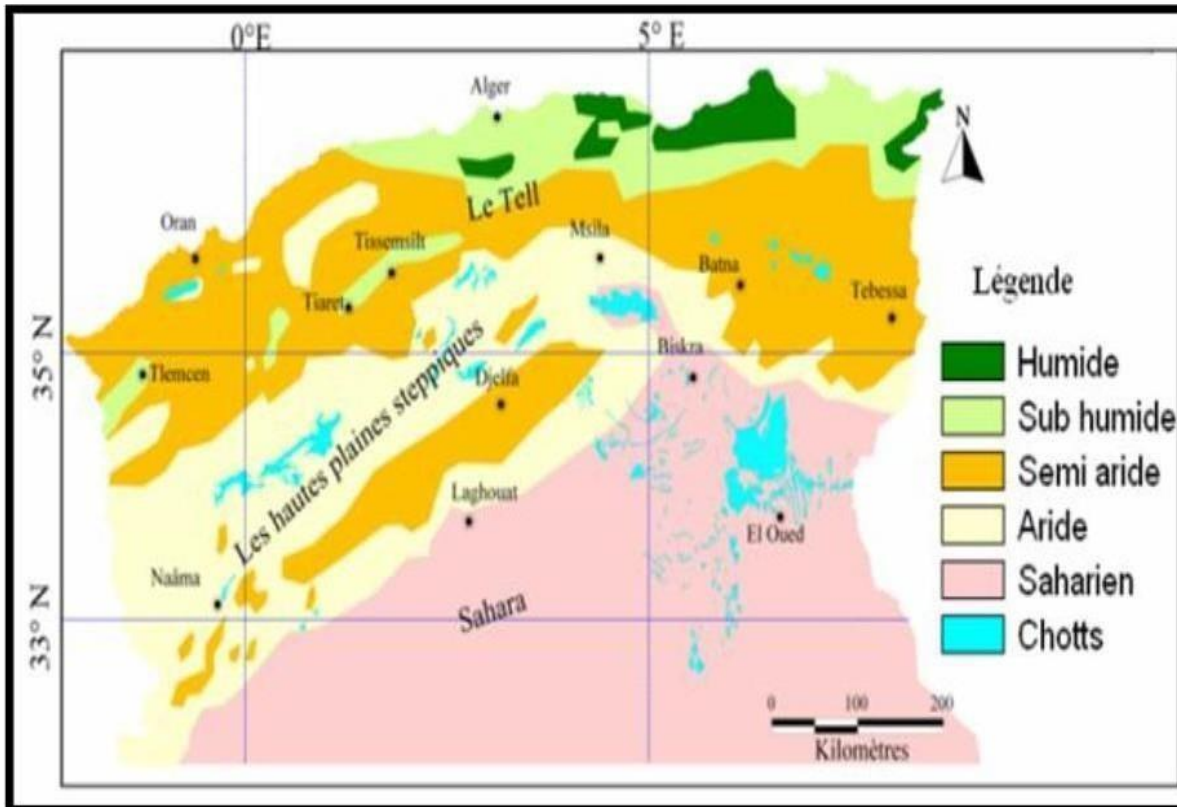


Figure 6 : Carte climatique d'Algérie (Source : Agence Nationale d'Aménagement du territoire, 2004).

## II.5. La végétation de l'Oranie :

D'après ALCARAZ, 1991, divers ensembles sont définis selon leurs exigences écologiques. Dans la région les séries de végétation sont en nombre de sept : la série du Genévrier de Phénicie, la série du chêne liège, la série du thuya de Berbérie, la série du chêne vert, la série de l'oléo lentisque, la série du Pin d'Alep et enfin la série halophile.



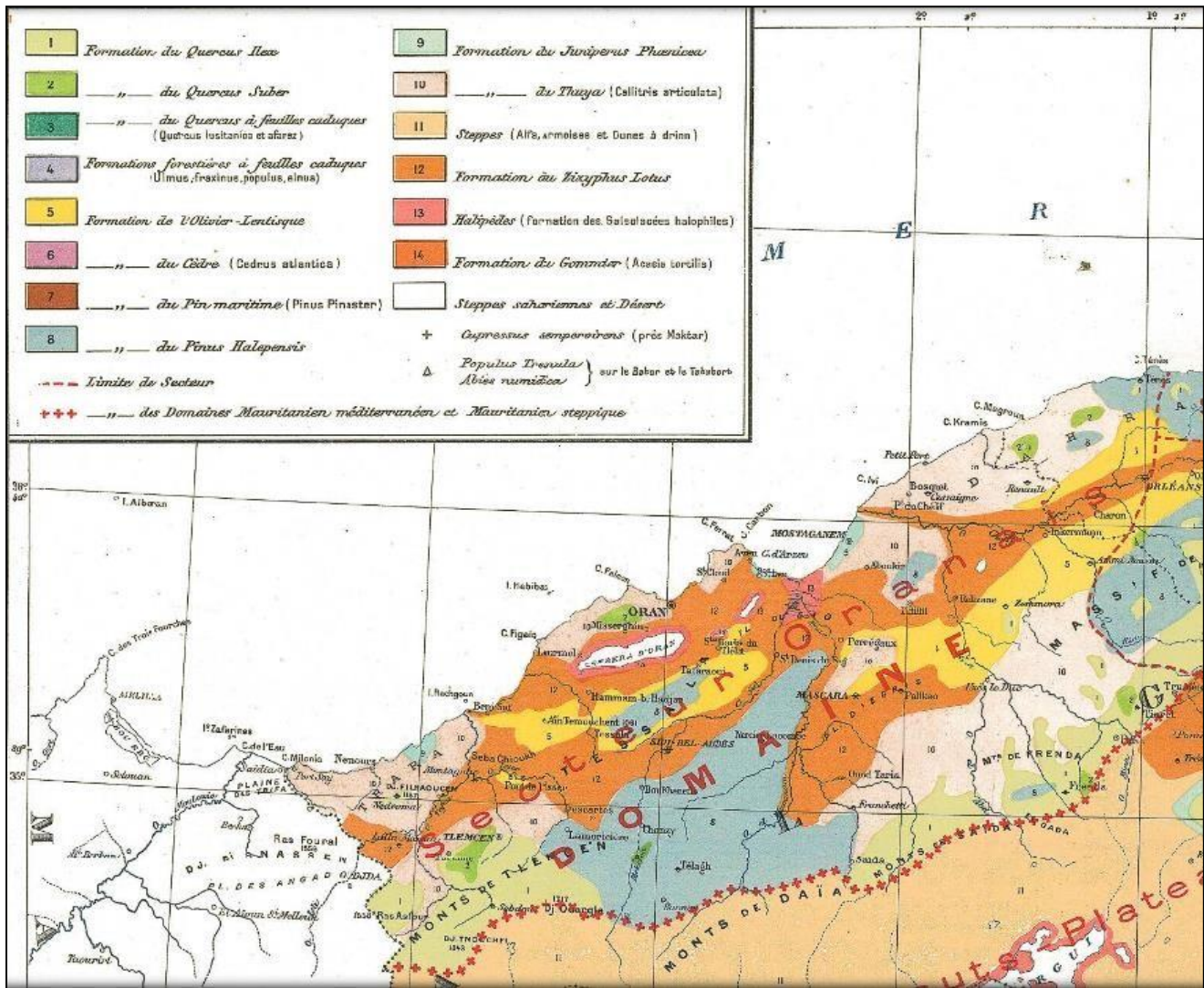


Figure 7 : la végétation en Oranie.

La série du Genévrier de Phénicie : *Juniperus turbinata* Sur le littoral Oranais (Canastel, Cap Lindles, Cap Falcon, Bousfer), l'alfa constitue des facies de dégradation si dense que l'on croirait se trouver sur les hauts plateaux steppiques en limitant notre champ de vision à la strate herbacée [Alcaraz, 1991].

Sur les dunes de sable nous trouvons *Juniperus phoenicea*, *Juniperus oxycedrus*. Dans les dunes en voie de dégradation, qui se trouvent généralement en clairière de Junipéraie et de Tetraclinaie ayant subi un fort vieillissement on voit apparaître *Retama monosperma* et d'autres espèces.

La dégradation du domaine du Genévrier de Phénicie est en général plus marquée que celle du Thuya. L'homme et les troupeaux le marquent beaucoup plus de leur empreinte. Bien qu'il soit plus ou moins capable

de rejeter de souche, sa résistance au feu est bien inférieure à celle du Thuya. La série du Genévrier est un agent fixateur des dunes de premier ordre.

En fait cette série est utilisée comme terrain de parcours, mais cela provoque la dégradation qu'on peut constater en plusieurs points du littoral Oranais.

Quoi qu'il en soit, la présence de *Stipa tenacissima* en occurrence l'alfa et d'autres espèces steppiques, présahariennes ou sahariennes sur les côtes de l'Oranie constitue le caractère le plus original de l'Algérie occidentale.

### **II.5.2 La série du Chêne Liège :**

*Quercus suber* *Quercus suber* est une espèce typiquement méditerranéenne, endémique de la Méditerranée occidentale (Zeraïa, 1981). En Algérie, la subéraie est localisée entre le littoral et une ligne passant approximativement par Tizi-Ouzou, Kherrata, Guelma et Souk Ahras (à l'est).

Le chêne liège peut pénétrer le semi-aride à la faveur de compensations hydriques tel est le cas à la forêt de M'sila près d'Oran, de Tlemcen, de Mascara et de Tiaret.

Les subéraies algériennes se rapprochent beaucoup des structures existantes au nord de la Méditerranée, elles appartiennent généralement au thermo-méditerranéen où s'individualise surtout le groupement à *Genista linifolia* et *Quercus suber* (Sauvage, 1961 ; Zeraia, 1981).

### **II.5.3 La série de l'Oléo-lentisque (*Olea europea* et *Pistacia lentiscus*) :**

*Pistacia lentiscus* est une espèce appartenant à la famille des Anacardiaceae. C'est un arbrisseau très commun dans le bassin méditerranéen (Mitcheh, 1986 ; Baudière et al, 2002 in MANSOURI S, 2012). *Olea europea* est une espèce appartenant à la famille des Oléaceae, c'est un arbre très apprécié par la population méditerranéenne pour ces fruits et son huile.

La formation de l'Oléo-Lentisque est celle qui est le plus fréquemment et le plus profondément modifiée par l'homme. Ceci tiens à ce qu'elle occupe les terrains argileux qui constituent généralement des plaines, excellentes terres à culture.



#### **II.5.4 La série du Thuya de Berbère : (*Tetraclinis articulata*)**

La série du Thuya est très répandue en Afrique du nord, surtout dans la partie sèche à hiver peu rigoureux. Malgré ses qualités le thuya ne domine que la strate buissonnante et une partie de la strate arbustive. La strate arborescente est dominée par le pin d'Alep largement favorisé par les reboisements.

La dominance du thuya dans la strate arbustive est un signe de sa vigueur et de sa remarquable faculté de reconquête des terrains. Malgré les pressions anthropiques élevées et permanentes, il n'est pratiquement pas exclu de son habitat, il n'y a que la lenteur de la croissance qui peut être retenue au négatif de cette essence.

Assez largement présent en Oranie littorale le thuya est une essence indifférente aux substrats mais tributaire des influences marines, présente dans toutes les formations végétales (Hadjadj, 1991, 1993, 1995).

La série du Thuya correspond à des sols secs plus ou moins rocailleux, surtout calcaire, parfois siliceux et à climat nettement sec et chaud, doux en hiver.

#### **II.5.5 La série du Chêne Vert : (*Quercus rotundifolia*)**

*Quercus ilex* est une espèce sempervirente de la famille des Fagacées. Elle est considérée comme l'une des essences majeures de la région méditerranéenne et occupe une très grande partie de la surface forestière algérienne 354 000 ha ce qui représente 15,7 %.

On la retrouve partout, aussi bien sur l'Atlas saharien que l'Atlas Tellien où elle forme de belles forêts, notamment sur les monts de Tlemcen (Haichour, 2009). À Oran on trouve quelques arbres reliques sur le Murdjadjo et sur le Tessala.

#### **II.5.6 La série du Pin d'Alep : (*Pinus halepensis*)**

Elle est considérée actuellement comme l'une des essences les plus répandues du pourtour méditerranéen. En Algérie, le pin d'Alep avec ses 800 000 ha de couverture occupe bien la première place de la surface boisée du pays (Bentouati, 2006).

Il est abondant sur presque tous les massifs à l'ouest d'Alger, sur les hauts plateaux et l'Atlas saharien (Baumgartner, 1965 in MANSOURI S, 2012 La série de *Pinus halepensis* est éminemment thermophile et xérophile.

Dans les régions où comme dans la nôtre, les précipitations sont faibles, elle s'installe sur les sols les plus variés.

### **II.5.7 La série Halophile :**

Il s'agit de groupement d'halophytes annuelles et vivaces, qui exploitent en conditions semi-aride et aride, les concentrations édaphiques accessibles d'eau relativement salées (Aimé, 1991). Cette série occupe les cuvettes argileuses riches en sels minéraux (Chlorure et Sulfate de Sodium, Chlorure et Sulfate de Magnésium).

### **II.6. Réseau hydrographique de l'Oranie :**

Le réseau hydrographique de l'Oranie est un ensemble de cours d'eau et de fossés qui sillonnent la région. Le réseau hydrographique de la région est y peu développé, conséquence directe du régime des oueds sous l'influence des conditions pluviométriques régionales.

Ces derniers subissent des alternances entre des périodes de crues courtes et brutales avec des périodes d'étiage sévères. La forte disparité de relief confère à cette région deux systèmes hydrologiques opposés :

- des oueds à écoulement exoréique et relativement abondant au Nord, qui s'écoulent vers la mer méditerranée (bassins subhumides à humides du Tell et des plaines côtières)
- des oueds à écoulement endoréique vers le Sud, qui s'écoulent vers des dépressions fermées (bassins semi-aride et aride des Hautes Plaines Oranaises et des paiements de l'Atlas Saharien).

La région est divisée en deux grands ensembles ; l'Oranie pour la partie septentrionale, scindée en trois (03) bassins versants (les Côtiers Oranais, la Tafna et la Macta) et le Chott Chergui pour la partie méridionale, scindée elle aussi en deux (02) grands bassins versants (le Chott Chergui et le Chott El Gharbi). (Figure 8)

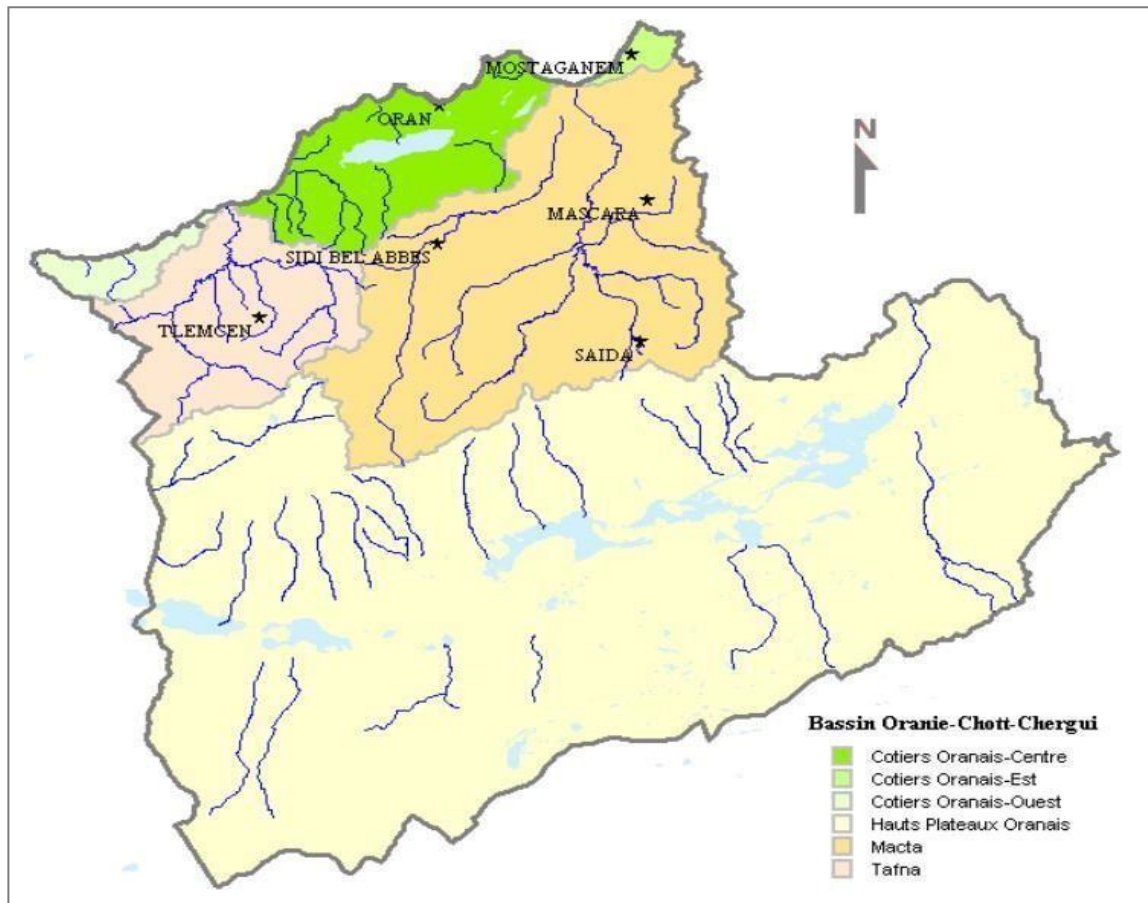


Figure 8 : Région hydrographique lOranie.

Ces bassins versants qu'on trouve en Oranie sont comme suit:

### 1. Le bassin versant de la Macta:

Appartenant à un ensemble géographique assez homogène, le bassin de la Macta s'étend sur une superficie de 14389 km<sup>2</sup>, et est composé de 16 sous bassins versants. Il est limité au Nord-Ouest par les chaînes montagneuses du Tessala, au Sud par les Hauts plateaux de Maalif, à l'Ouest par les plateaux de Télagh et à l'Est par les monts de Saïda. Le relief est caractérisé par des plaines et des montagnes :

- A. Le plateau de Saïda, limité par la plaine d'Eghriss au Nord, les Monts de Tiaret à l'Est, les Monts des Daïa à l'Ouest et le bassin du Chott Chergui au Sud ;
- B. La plaine d'Eghriss, d'une superficie de 472 km<sup>2</sup> et qui est limitée au Nord par les Monts des Beni Chougrane, au Sud par les Monts de Saïda, à l'Ouest par la vallée de l'Oued Melghir ;
- C. Plaine de Sidi Bel Abbès est une cuvette couvrant une superficie de 480 km<sup>2</sup>, limitée au Nord par les Monts de Tessala, au Sud par les Monts de Tlemcen-Saïda, à l'Ouest par la vallée de l'Oued Isser et à l'Est

par la chaîne des Beni Chougrane. Cette plaine correspond au bassin versant de la moyenne Mekerra, entre la cluse de Sidi Ali Benyoub et le seuil du Rocher, en aval de la ville de Sidi Bel Abbas.

Tel qu'il se présente, de part son réseau hydrographique très dense à l'amont et allongé en aval, le bassin, situé dans le versant des hautes plaines oranaises, peut être classé parmi les régions semi- arides. Les crêtes montagneuses se relayent du Sud-Ouest au Nord-Est, pouvant atteindre localement les 1700 m d'altitude.

Les cotes maximales, formant les limites du bassin au Sud, constituent un véritable seuil naturel climatique séparant ainsi deux régimes pluviométriques opposés : Continental Saharien, pour les flancs Sud et Méditerranéen humides, pour les flancs Nord. La pluviométrie annuelle décroît du Nord vers le Sud, et varie en moyenne de 300 à 550 mm. Localement, elle peut atteindre 600 mm, voire 700 mm sur les crêtes des Monts de Saïda, à Aouf.

### **2. Le bassin versant de la Tafna:**

Le bassin versant de la Tafna s'étend sur la totalité de la Wilaya de Tlemcen (77% de la superficie totale) et déborde sur le royaume du Maroc. Le principal Oued du bassin versant est l'Oued Tafna. Ce dernier prend sa source dans la grotte de Ghar Boumaâza dans les monts de Tlemcen avec une longueur qui atteint 150 kilomètres.

Le bassin hydrographique de la Tafna a une superficie de 7 250 km<sup>2</sup> et regroupe cinq barrages qui sont du plus ancien au plus récent Beni Bahdel (66 Hm<sup>3</sup>), Meffrouch (15 Hm<sup>3</sup>), Sidi Abdelli (110 Hm<sup>3</sup>), Hammam Boughrara (177 Hm<sup>3</sup>) et le barrage de Sikkak (27 Hm<sup>3</sup>).

La Tafna a deux affluents importants, l'Oued Isser et l'Oued Mouilah; plusieurs affluents forment un réseau hydrographique discontinu dans le temps et dans l'espace. Certains sont permanents et ne tarissent jamais en amont. Ils sont représentés par les Oueds Khemis, Mouilah, Isser, Sikkak, et Chouly. D'autres sont temporaires car ils ne sont pas alimentés par des sources et dépendent donc des précipitations.

Du point de vue de l'apport liquide, la haute Tafna reçoit annuellement 29.63 Hm<sup>3</sup>, un volume proche de celui reçu par Oued Isser (29.53 Hm<sup>3</sup>) malgré que la superficie du premier ne représente que 22.4% de celle du second. Le bassin d'Oued Mouilah reçoit quant à lui 64.13 Hm<sup>3</sup> [Ghenim, 2001].

### **3. Bassin versant Haut-plateau Oranais:**

Ce bassin versant est l'un des plus grands bassins de l'Algérie et de la région hydrographique Oranais Chott Ech chergui, d'une superficie d'environ 49.580 km<sup>2</sup> soit 64,4% de la superficie totale de la région hydrographique. Il se caractérise par la présence de plusieurs zones endoréiques dont on peut citer, Chott Ech Chergui et Chott Dahrani.

Le Chott Ech Chergui est situé sur les Hautes plaines oranaises dans une région steppique, aride, où l'eau est souvent temporaire, entre 34°25` et 34°30` de latitude et 0° 45` et 0°55` de longitude. Il se localise à 80 km au Sud-Est de la wilaya de Saïda et à 530 km au Sud-Ouest d'Alger, couvrant une superficie de 855500 hectares avec une altitude maximale de 1000 m. Administrativement, il appartient à la wilaya de Saïda, Daïra de Hassasna et Commune de Aïn Skhouna.

Cette zone endoréique est une vaste dépression fermée permanente qui est considérée comme la plus grande en Afrique du Nord, elle contient de nombreux milieux d'eau douce, salée et saumâtre, voire thermale, de dimension largement internationale au vue de la biodiversité qu'elle renferme. Le Bassin du Haut-plateau Oranais est caractérisé par le chevelu hydrographique très peu développé (La densité de drainage du bassin de 0,33 Km/Km<sup>2</sup> est très faible).

Le plus grand nombre des Oueds situant au Nord prennent leurs origines dans les crêtes de l'Atlas Tellien au Nord et se déversent dans le Chott Ech Chergui au Sud. Les Oueds situant au Sud prennent leurs origines du flanc Nord de l'Atlas Saharien au Sud et s'écoulent en direction du Nord. Le régime des cours d'eau est très irrégulier et le débit d'étiage est nul ou insignifiant durant la période sèche [ABH- OCC, 2006].

Les principaux Oueds du bassin Haut-plateau Oranais sont : Oued Nasser, totalisant une longueur plus de 75 km, Oued Falette et Oued Hamaimat, présentant une longueur plus de 60 km. Les Oueds tributaires du bassin n'ont pas d'écoulement engendrant des torrents mais quelques irrégularités de débits, parfois importantes.

Ce bassin ne présente pas le caractère d'érosion intensif. Le transport solide est faible et de texture fine car les pentes sont faibles [ABH-OCC, 2006]. Son humidité moyenne varie entre 37% et 74,5% et sa température moyenne annuelle est de 14,8 °C. Ce bassin est essentiellement caractérisés par des vents qui viennent de l'Ouest et du Nord, quant aux vents qui viennent du Sud, ils sont relativement faibles et provoquent souvent des siroccos.

#### 4. Côtier Oranais:

Le Côtier Oranais regroupe trois bassins versants (Côtier Oranais Est, Côtier Oranais Centre et Côtier Oranais Ouest), il s'étend sur une superficie de 5887.4 km<sup>2</sup> [ABH- OCC, 2004]. Le plus grand est celui du Côtier Oranais Centre avec une superficie d'environ 4621 km<sup>2</sup>. Ce dernier abrite la sebkha d'Oran qui est une dépression salée de type endoréique et les salines d'Arzew (5.778 ha) [DGF, 2004].

Il est composé de :

- Sous Bassin Côtier Occidental : est caractérisé par plusieurs affluents qui dévalent des monts des Traras (1021 m d'altitude) et débouchent directement dans la mer. Parmi ses principaux oueds : Oued Marsa.

- Sous Bassin Côtier Central : occupant la plus grande partie de la superficie totale de l'ensemble du bassin des Côtiers Oranais avec un pourcentage de 80% ;il est caractérisé par la présence de dépressions sublittorales endoréiques (Sebkha d'Oran, saline d'Arzew). L'Oued le plus important est celui d'El Maleh, qui prend son origine des hauteurs des monts des Tessala avec deux principaux affluents : Oued Meteguer et Oued Senane.
- Les principaux Oueds du Sous Bassin Côtier Oriental sont: Oued Tine qui prend son origine de Sirat dans un terrain argileux jusqu'aux marais de la Macta et Oued Ain Sefra qui prend naissance dans la zone Est de la ville de Mostaganem.

## **II.7. Conclusion :**

La région Oranaise est très variée de point de vue géologique, relief, hydrographique, végétation. Sa position géographique lui confère des particularités de point de vue climatique. D'une manière générale sur les précipitations et ses répartitions dans l'espace et dans le temps ce qui fera l'objet du prochain chapitre.

On commence par introduire la région, en décrivant sa situation géographique, sa superficie et ses limites.

Ensuite, on aborde le cadre géologique de la région, mettant en avant la diversité des formations géologiques présentes, des schistes du primaire aux calcaires du secondaire et du tertiaire.

Le relief est ensuite décrit, avec ses plaines littorales, ses montagnes et ses plateaux, notamment le massif de l'Ouarsenis qui culmine à près de 2000 mètres.

Ensuite à l'étude du climat, qui est méditerranéen avec des hivers doux et des étés chauds et secs. Il y a une forte variabilité des précipitations et des vents, notamment le Sirocco, un vent chaud et sec qui souffle du sud vers le nord en été. Enfin, le chapitre décrit la végétation de la région, qui est influencée par le climat et le relief.

La végétation est très diversifiée, avec des forêts de chêne-liège, de pin d'Alep et de thuya, des steppes à alfa et des zones halophiles.

Le chapitre se termine par une analyse du réseau hydrographique de la région, qui est assez peu développé, mais qui est composé de plusieurs bassins versants importants, dont celui de la Macta, celui de la Tafna et celui du Chott Ech Chergui.

***Chapitre III :***  
***Méthodes d'investigation***

### III.1 données et méthodes d'approche

#### III.1.1 Introduction :

Le but principal de ce chapitre est de définir les outils et les méthodes qui vont être utilisé pour caractériser les précipitations extrêmes au niveau de l'Oranie. Au cours de l'élaboration de notre base de données sur la région de l'Oranie nous nous sommes intéressées aux données climatiques et précisément les précipitations afin de déterminer leur variabilité spatiale et temporelle.

#### III.1.2 Collecte des données :

Les données utilisées pour le calcul des différents indices ont été téléchargées à partir du site [www.nasapower.com](http://www.nasapower.com). Elles sont sous forme journalières sur toute la période 2002-2023 soit une série de 22 ans. Les données relatifs aux précipitations de six stations météorologiques ont servi de cadre à notre étude (tableau 1)

Stations	Code OACI	Latitude(°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Mostaganem	DAOG	35,88	0,12	137
Senia - Oran	DAOO	35,63	-0,6	90
Zenata- Tlemcen	DAON	35,02	-1,47	247
Tiaret	DAOT	35,25	1,43	1127
Mascara	DAOV	35,2	0,13	514
Saida	DAOD	34,87	0,15	770

**Tableau 1:** Présentation des stations météorologiques

Le choix des stations reposait d'une part sur la représentativité des différentes situations géographiques (littoral, plaines intérieures, hauts plateaux et d'autre part de la part de la disponibilité des données. (Figure 9)



**Figure 9 :** les stations météorologiques choisies (Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Oranie>).



### III.1.3 Méthodes d'analyse :

Les logiciels utilisés pour l'analyse de la variabilité des extrêmes climatiques sont :

- Le logiciel RStudio Version 2022.02.2 téléchargeable gratuitement sur le site : [www.rstudio.com](http://www.rstudio.com). Le travail sur ce logiciel a nécessité l'installation de packages différents tels que Climatol, et factoMineR
- RClimDex V1.0

L'analyse des extrêmes de pluies a été possible grâce au calcul des indices. Bien qu'il existe de nombreux indices climatiques au nombre de 27 définis par l'Expert Team on Climate Change Detection Indices (ETCCDI), 7 indices pluviométriques ont été retenus dans le cadre de cette étude.

Le choix de ces indices a été fait pour mettre en relief les événements pluvieux extrêmes et leur fréquence. Les identités, les noms et les définitions de ces indices sont présentés dans le tableau 2.

Identification	Nom de l'indice	Définition	Unité
PRCPTOT	Total annuel des pluies	Précipitations totales annuelles des jours pluvieux ( $RR \geq 1,0$ mm)	Millimètre
RX1day	Hauteur maximale des Précipitations d'un jour	Précipitation totale maximale d'un jour pluvieux	Millimètre
RX5day	Cumul maximal des précipitations de 5 jours	Précipitation totale maximale sur 5 jours pluvieux consécutifs pendant l'année	Millimètre
R95p	Jours très pluvieux	Précipitation totale annuelle avec précipitation > 95e percentile	Millimètre
R99p	Jours extrêmement pluvieux	Précipitations totales annuelles avec les précipitations > 99e percentile	Millimètre
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximal des jours consécutifs avec précipitations journalières < 1 mm	Jours
CWD	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec des précipitations journalières $\geq 1$ mm	Jours

**Tableau 2 :** Indices des extrêmes des précipitations et des températures journalières.

Cette méthode d'analyse est communément utilisée pour l'étude des événements extrêmes [Manton et al., 2001 ; Griffiths et al., 2003, Haylock et al., 2006 ; New et al., 2006 ; Aguilar et al., 2009 ; Santos et al., 2010 ; Hountondji et al., 2011 ; Filahi et al., 2015].

On a procédé au calcul des indices choisis par le biais du logiciel RClimDex pour la période 2002-2023. Les résultats du test du logiciel nous permettent de donner la tendance climatique qui est un changement climatique caractérisé par une diminution ou un accroissement significatif régulier monotone des valeurs moyennes durant la période de relevé.

Plusieurs tests existent pour mettre en évidence l'existence éventuelle d'une tendance. Pour les besoins de cette étude on s'est intéressé au test de Mann Kendall (Annexe 1) préconisé par la note 143 de l'organisation mondiale de la météorologie.

### **III.1.4 Analyse du phénomène de sécheresse par l'indice SPI (Standardized précipitation index) :**

La sécheresse n'est pas qu'un phénomène physique ou climatique objectif. C'est aussi une notion relative qui reflète l'écart entre la disponibilité et la demande en eau pour l'homme, son agriculture, son bétail et certains usages de luxe (piscine, arrosage des gazons, lavage de voiture, etc). Ceci rend toute définition de la sécheresse relative au contexte d'utilisation [Arezki, TAZDAIT, 2012].

Pour suivre ce phénomène, on a choisi l'indice standardisé des précipitations (SPI) mis au point par McKee et al. (1993) le plus souvent utilisé. Son calcul ne demande que de longues séries pluviométriques et il présente le grand avantage de fonctionner à diverses échelles de temps et permet d'évaluer la sécheresse à court, moyen et long terme.

Par ailleurs, le SPI ( Standardized précipitation index), est un indice simple et robuste à la fois basé sur les données pluviométriques. Hayes et ses collaborateurs (1999) ont répertorié un certain nombre d'avantages en faveur de l'utilisation SPI, qui sont :

Sa grande simplicité. En effet, il n'est basé que sur les précipitations, les calculs sont rapides et intuitifs.

Le SPI est versatile : on peut aisément adapter l'échelle temporelle en fonction du type d'évaluation.

Les résultats sont cohérents dans l'espace en raison des caractéristiques de la loi normale sur laquelle il est basé.

Ainsi, une sécheresse extrême à la même probabilité d'occurrence sous en régions humides que dans les régions arides ou semi-arides.

Il est efficace tant l'hiver que l'été, et n'est pas affecté par l'effet de la topographie puisqu'il ne prend pas en compte l'eau dans le sol.

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté le SPI en 2009 comme instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques, aux termes de la « Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse ». Pour calculer le SPI, il faut au moins des relevés pluviométriques mensuels étalés sur 20 à 30 ans (de préférence, sur 50 à 60ans) [Guttman, 1999].

Très souvent, la standardisation consiste à soustraire la moyenne aux données et à diviser le résultat par l'écart-type de la série. Donc le SPI est calculé en prenant la différence entre la précipitation et la moyenne des précipitations pour une période de temps particulière qu'on divise par l'écart type de ces valeurs. Il est exprimé de l'expression mathématique suivante :

$$SPI = \frac{P_i - P_m}{\sigma}$$

D'où :  $P_m$  : Précipitations moyenne

$\sigma$  : l'écart type,

$P_i$  : Précipitations de l'année  $i$

En plus d'être un indice de sécheresse, ce dernier peut également nous renseigner sur la sévérité de celle-ci. Une échelle de sévérité a été donnée par McKee et Al (1993). Elle est représentée par le tableau 3:

Valeurs de SPI	Classes
Plus de 2.0	extrêmement humide
1.5 à 1.99	sévèrement humide
1 à 1.49	modérément humide
-0.99 à 0.99	proche de la normale
-1.0 à -1.49	modérément sèche
-1.5 à -1.99	sévèrement sèche
Moins de -2.0	extrêmement sèche

Tableau 3 : Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation Standardisé.

## III.2. Résultats et interprétations :

### III.2.1 Variabilité des indices des extrêmes des précipitations :

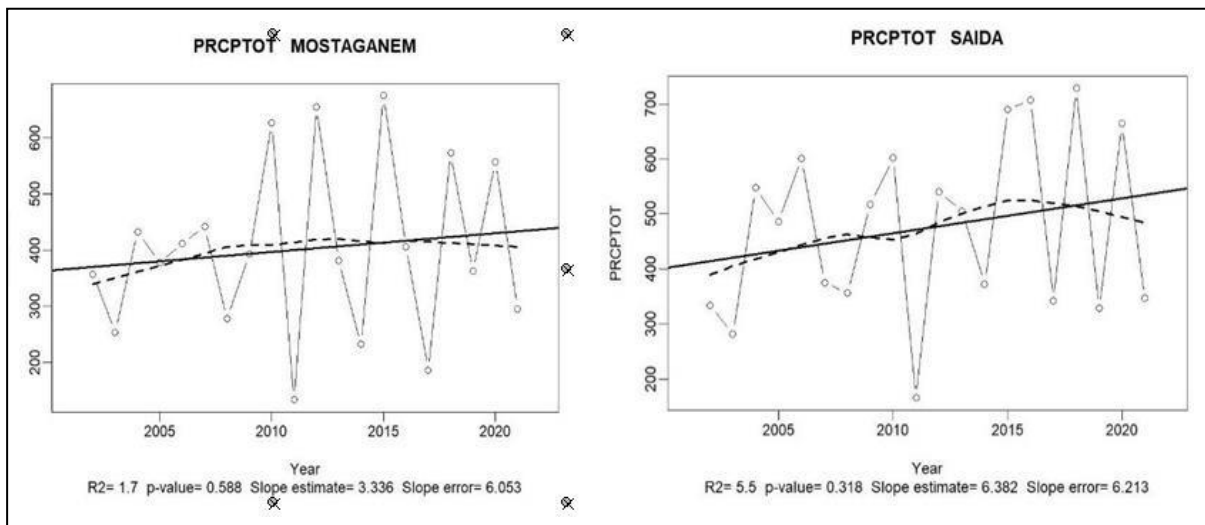
Dans ce qui suit nous présentons une analyse détaillée pour toutes les stations concernant l'évolution des indices de précipitations (PRCPTOT, CDD, CWD, Rx1day, Rx5day, R95p, R99p), afin d'identifier les tendances. On a choisi de faire l'analyse pour 6 stations : senia (Oran), Zenata (Tlemcen), Mascara, Mostaganem, Tiaret et Saida.

#### • Indice de total annuel des précipitations (PRCPTOT) :

L'évolution des totaux annuels des précipitations observées aux stations météorologiques de Zenata, Mostaganem et Oran pour la période 2002-2023, montre une tendance régulière non significative à la hausse (d'après le test de Mann Kendall). C'est-à-dire supérieur à 0.05.

Les pentes sont respectivement égales à 0,604 pour la station de Zenâta ; 0,192 pour la station de Mascara ; 0,236 pour Tiaret ; 0,588 pour Mostaganem ; 0,381 pour Saida et 0,364 pour la station d'Oran.

Pour l'indice PRCPTOT, la tendance locale n'est marquée pour les stations sauf pour la station de Zenata. En effet qui a marqué une diminution de 2002 à 2010. (Figure 10)



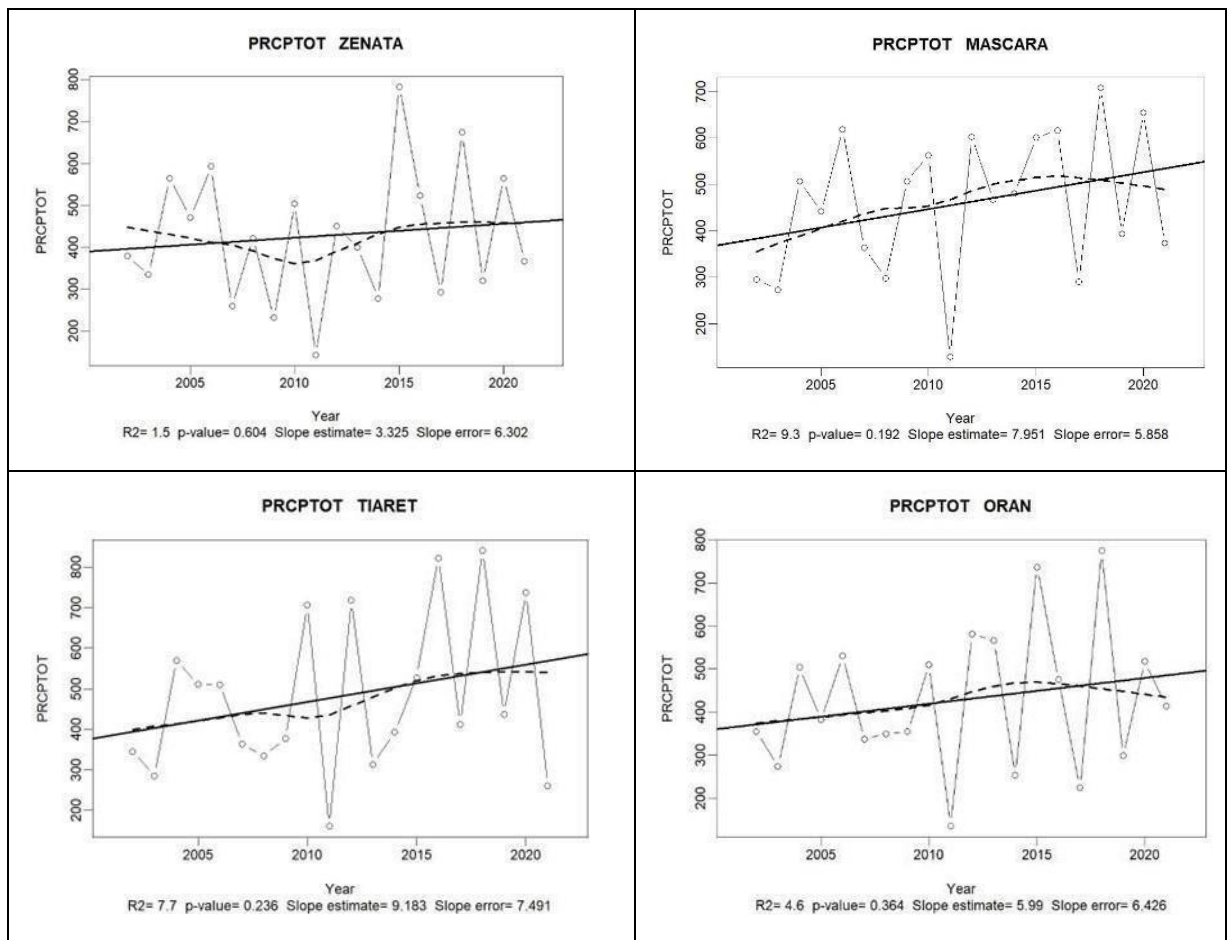


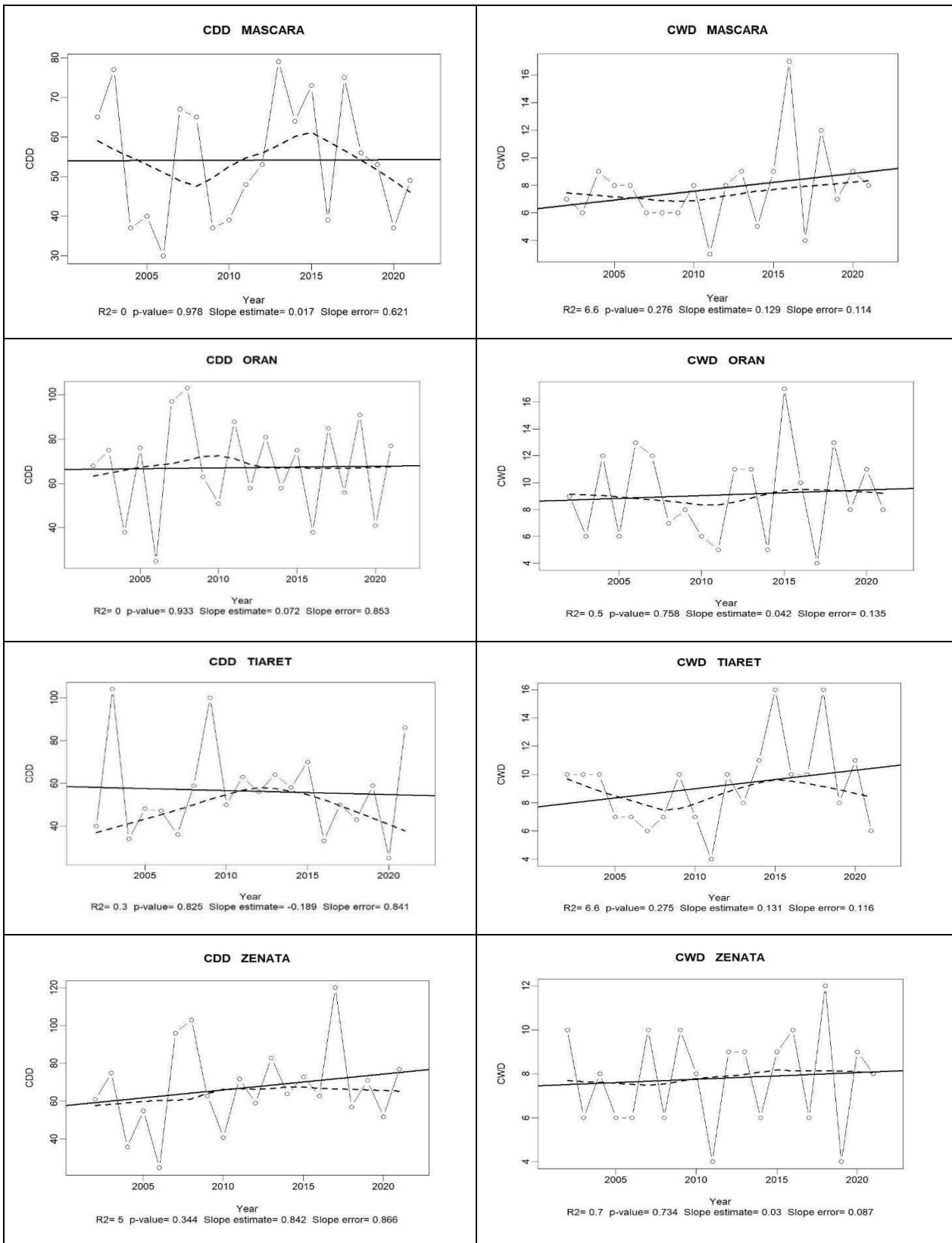
Figure 10 : Variation interannuelle et tendance linéaire de l'indice PRCPTOT

• Indices du jour secs consécutifs (CDD) et jours pluvieux consécutifs (CWD) :

L'allure générale de l'indice CDD représentant l'évolution des jours secs consécutifs, permet de mettre en évidence un caractère aléatoire d'évolution montrant une hausse non significative pour les six stations. (Figure 11)

Pour la station de Mascara, l'application de CDD a permis d'enregistrer une diminution de l'année 2002 jusqu'à 2007 puis une augmentation jusqu'à 2015 suivi d'une diminution jusqu'à 2023. De même, on a enregistré une diminution à partir de 2017 à 2023 pour la station de Tiaret.

On observe une distribution assez régulière de l'indice CWD sur l'ensemble de la période d'étude pour les stations (Oran, Mascara, Zenâta, Saida, Mostaganem) tandis que la station de Tiaret on a une diminution de 2002 à 2007 et une autre diminution à partir de 2015 à 2023. Leurs évolutions présentent une croissance non significative.



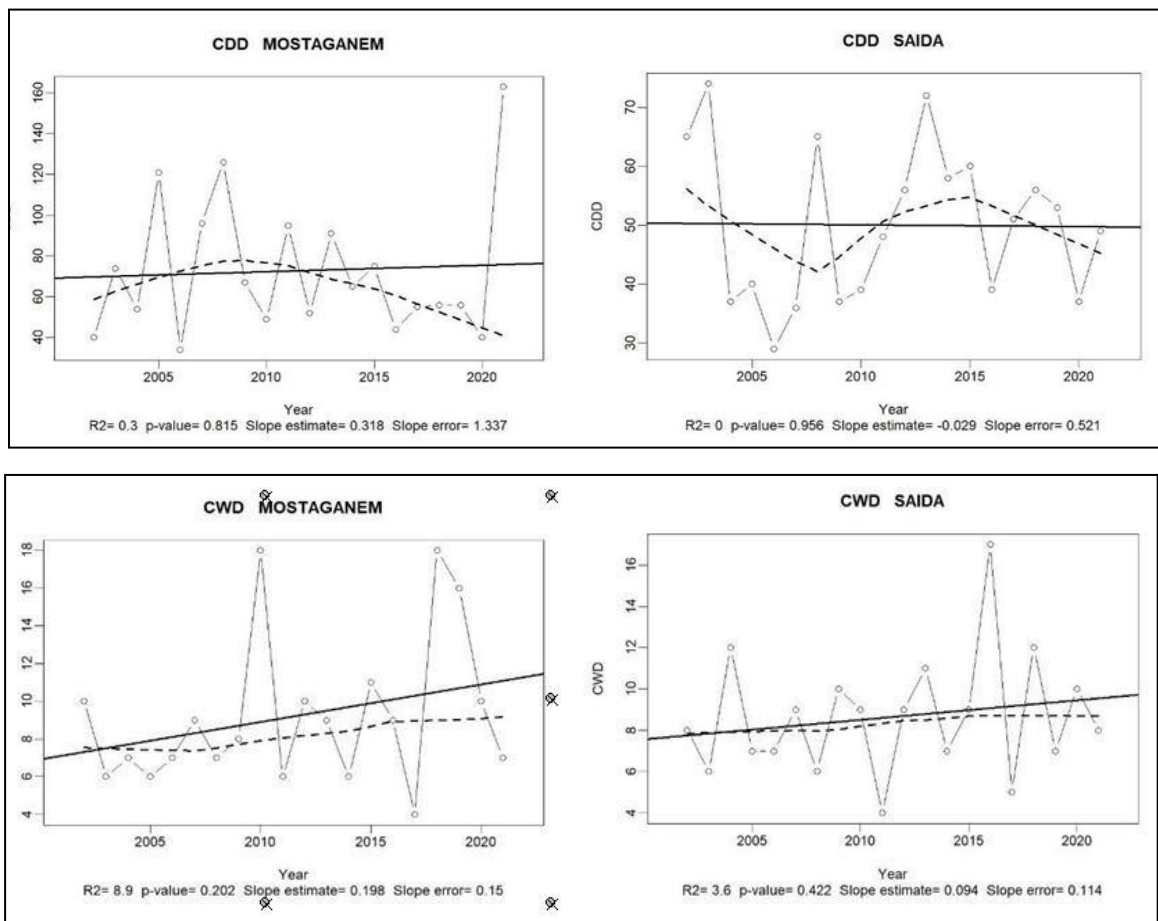


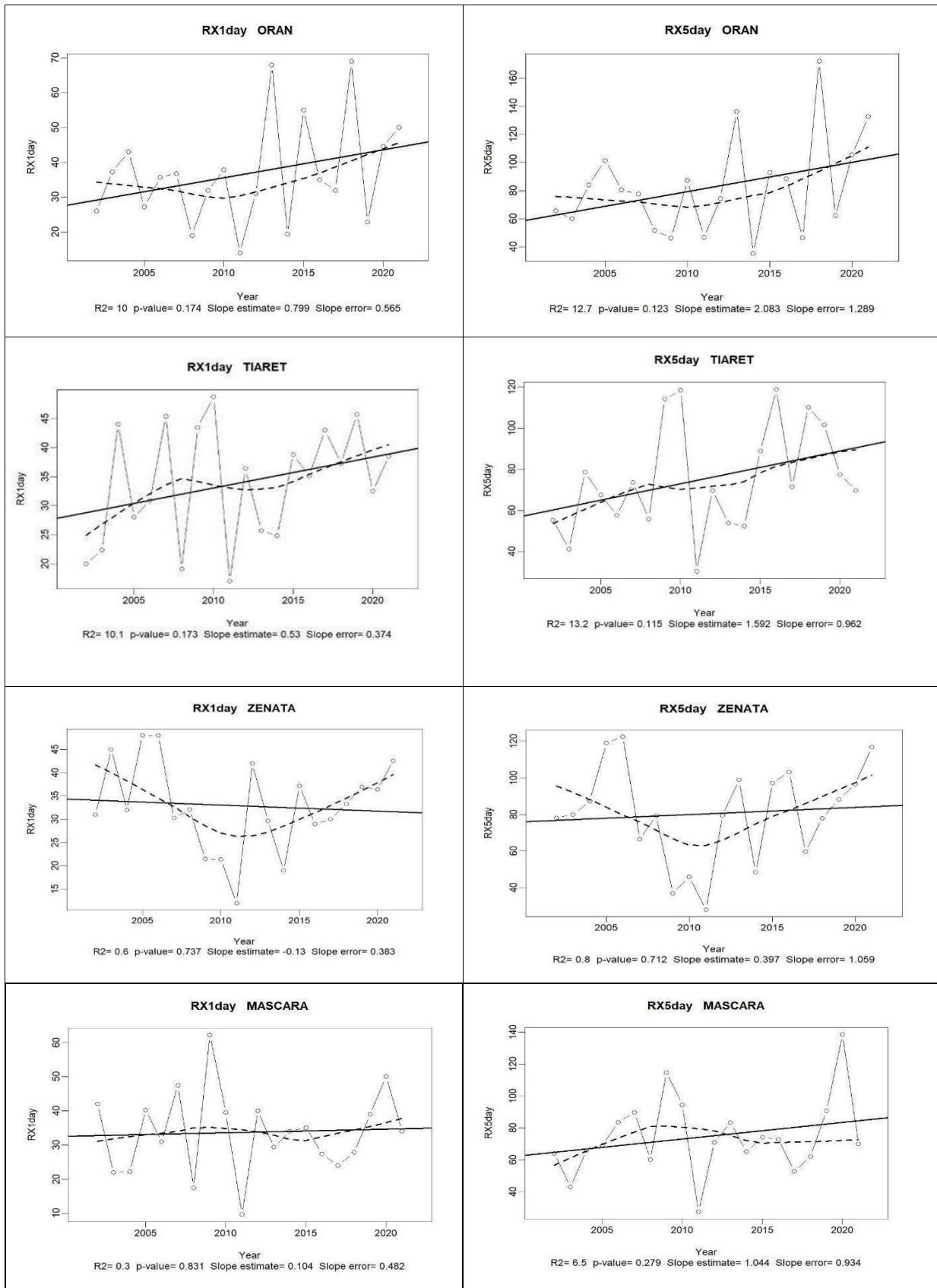
Figure 11 : Variation annuelle et tendance linéaire des indices CWD et CDD

• **Indices de précipitation maximale sur un jour (Rx1day) et de précipitation maximale sur cinq jours (Rx5day):**

Si l'on se réfère à l'évolution dictée par l'indice Rx1day, nous remarquons facilement que le maximum mensuel de la précipitation journalière a subit une croissance restant non significative pour les stations (Mascara, Oran, Tiaret, Mostaganem, Saida), une petite baisse non significative a caractérisé la station de Zenata de 1993 à 1998. La station de Zenata présente une augmentation à partir de 2011 à 2023.

A propos de l'indice Rx5day on remarque également que Cumul maximal des précipitations de 5 jours a une tendance à la hausse non significative pour les six stations les 6 stations. La station de Mascara a une légère baisse de 2007 à 2010. La station Zenata de a marqué une diminution de 2002 à 2010. (Figure 12)







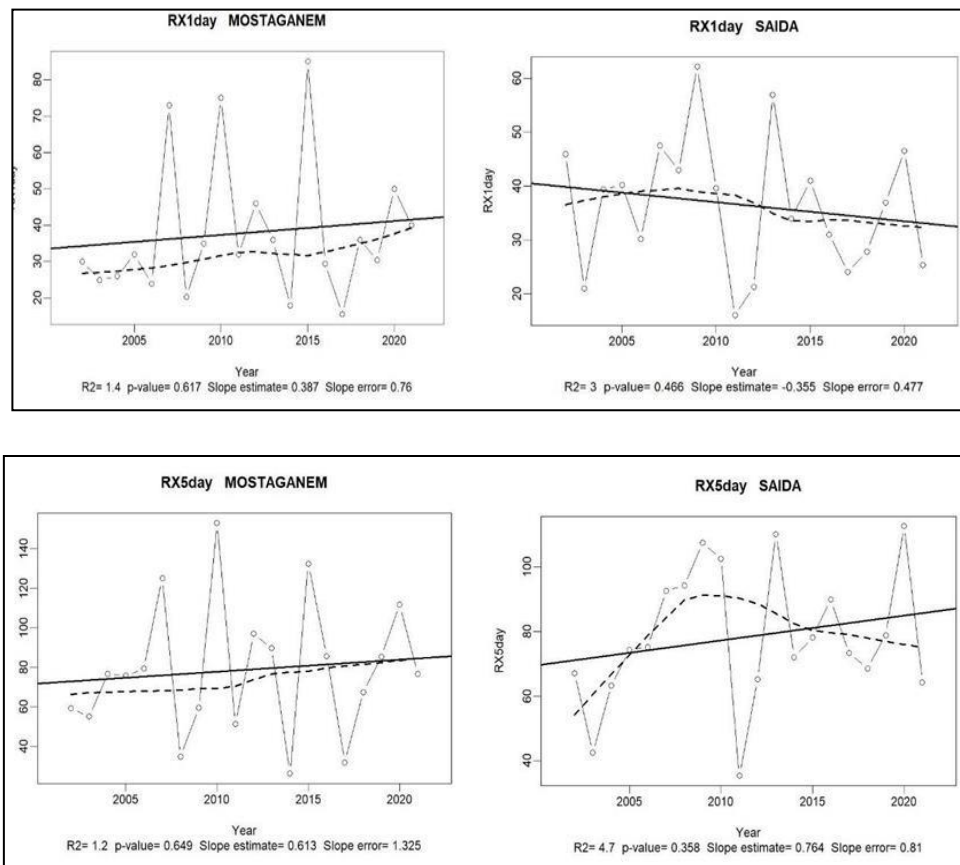
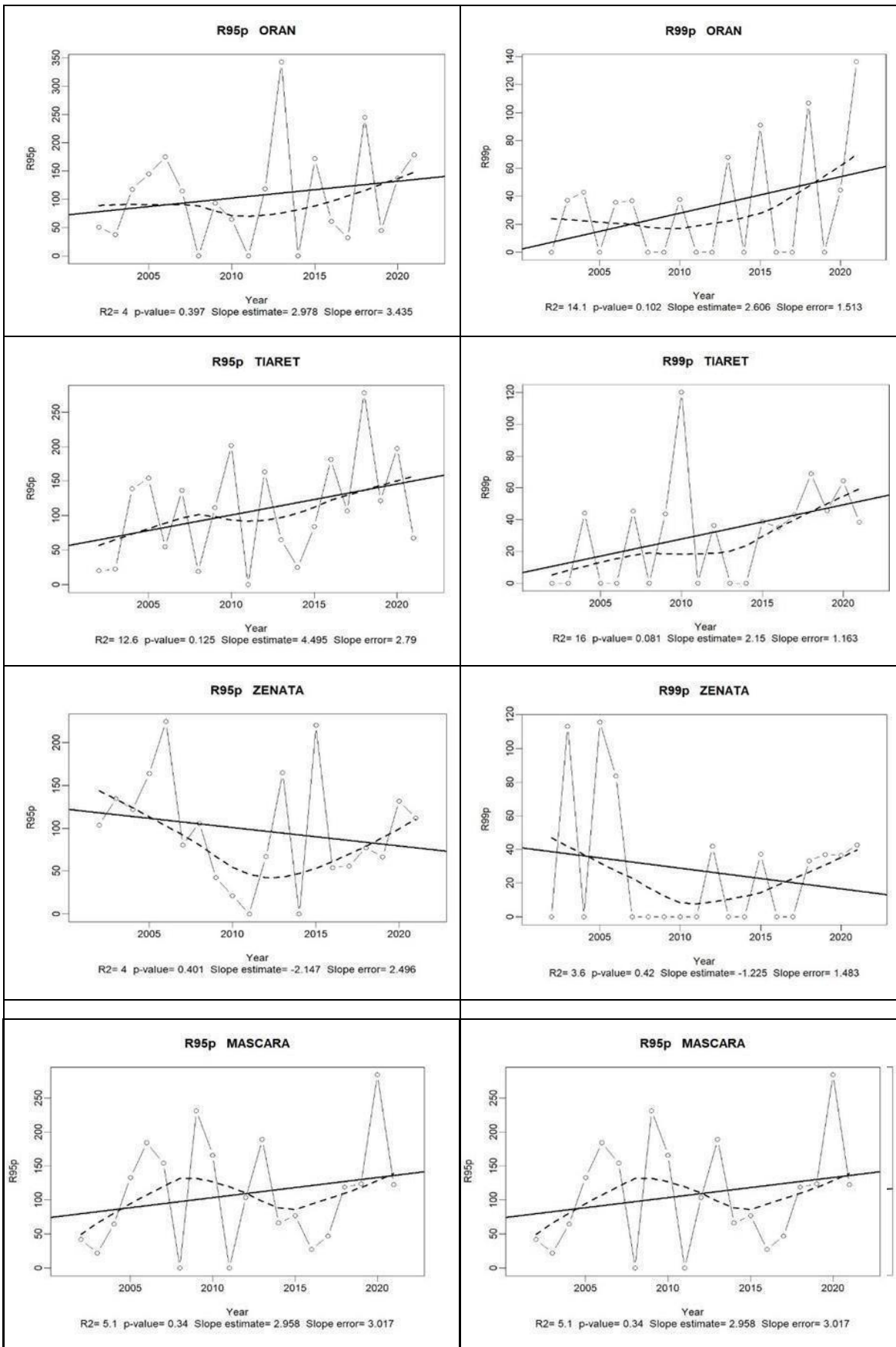


Figure 12 : Variation annuelle et tendance linéaire des indices Rx1day et Rx5day.

• **Indice de jours très pluvieux (R95p) et jours extrêmement pluvieux (R99p) :**

Les jours très pluvieux (R95p) et les jours extrêmement pluvieux se caractérisent par une hausse importante non significative pour toutes les stations sauf la station de Zenata qui présente une diminution non significative témoin d'une sécheresse.

Par ailleurs, la station de Mascara a marqué une augmentation de de 2007-2015 pour l'indice R99p c'est-à-dire, des jours très pluvieux. De même pour la station de Zenata qui a enregistré une augmentation de 2010 à 2023 par le calcul de l'indice R99p.



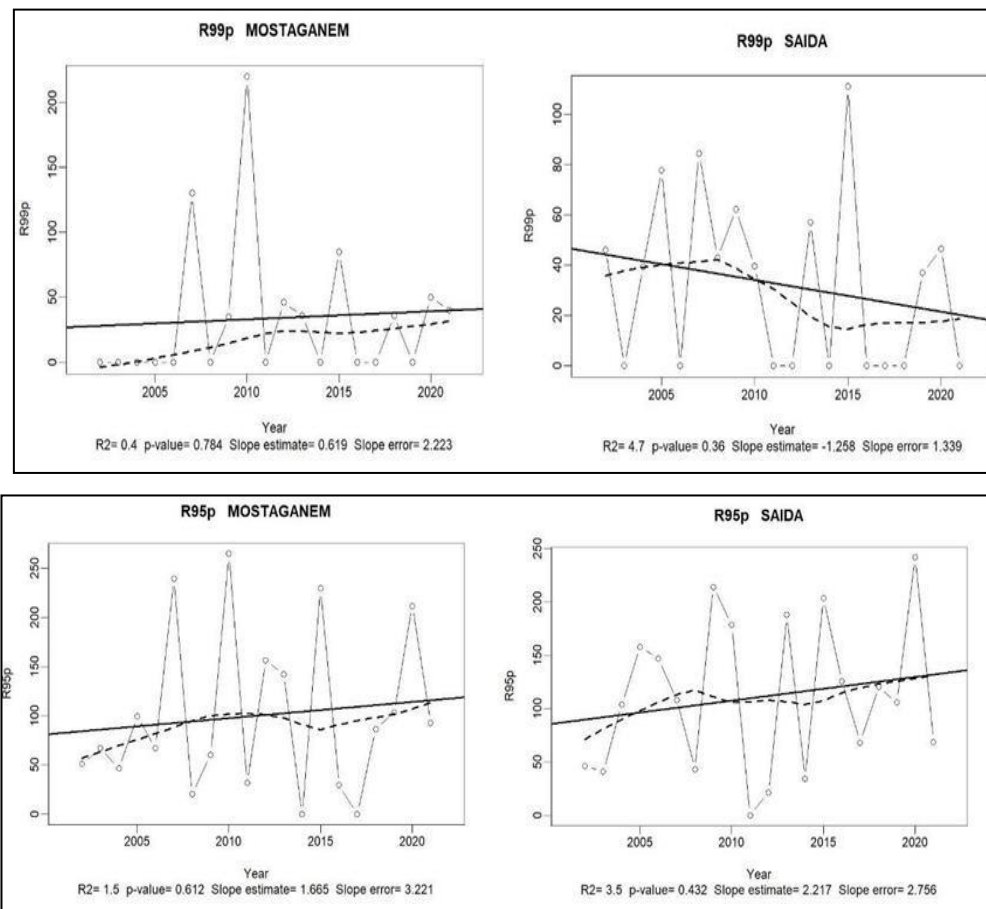


Figure 13: Variation annuelle et tendance linéaire des indices R95p et R99p

• **Indice pluviométrique standardisé (SPI) :**

La figure 14 représente les graphes de l'évolution de l'indice SPI pour les six stations réparties sur l'ensemble de la zone d'étude.

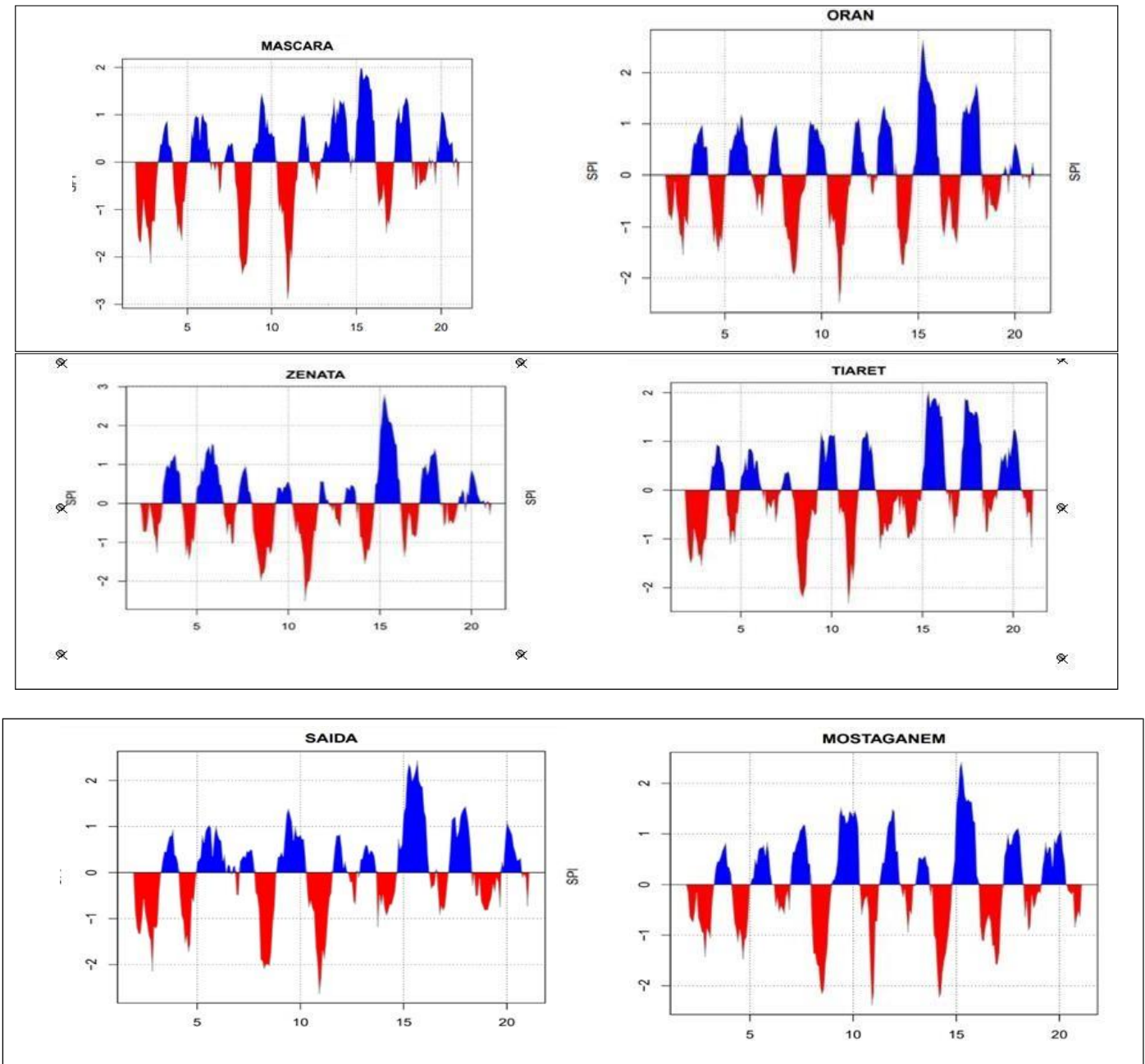
L'application de l'indice SPI a été effectuée à l'échelle de 12 mois. Cela a permis de détecter plusieurs séquences de sécheresses qui ont touché la région d'étude.

L'interprétation des graphes et l'analyse de sécheresse repose sur la classification des valeurs de l'indice SPI dans le tableau mentionné dans le chapitre précédent. Tout ce qui est valeur positive du SPI (en ordonnée) correspond à l'humidité (année humide en bleu) et toute valeur négative correspond à la sécheresse (année sèche en rouge).

Les graphes montrent la répartition chronologique des périodes humides, normales et sèches, qui détermine, en effet, le régime pluviométrique de chaque région.

Les résultats de la figure 14 montrent une alternance des périodes sèches et des périodes humides pour l'ensemble de la région étudiée. On résume les résultats pour chaque station comme suit :

- Zenata : Extrêmement humide entre 2015 et 2016, modérément humides en 2003, 2005, 2007 et 2017. Extrêmement sèche en 2011, sévèrement sèche en 2008, modérément sèche en 2003.
- Tiaret : Sévèrement humide 2015-2016-2017-2018, modérément humide 2010-2011-2012-2020 et 2011, extrêmement sèche en 2008 et 2011 et modérément sèche en 2002 et 2003.
- Mascara : Sévèrement humide l'année 2016 modérément humide l'année 2009 l'année 2014, extrêmement sèche l'année 2008 et l'année 2011, sévèrement sèche l'année 2002, 2003, 2004 et 2017
- Oran : Extrêmement humide l'année 2015 et 2016 modérément humide 2013 et 2018, extrêmement sèche en 2011 sévèrement sèche en 2008 et 2014 modérément sèche en 2003-2004 et 2017.
- Mostaganem : Extrêmement humide l'année 2010 et l'année 2013 extrêmement sèche l'année 2008, 2011 et 2014, modérément sèche l'année 2003, 2004, 2017.
- Saïda : Extrêmement humide l'année 2016 modérément humide l'année 2011 et 2017, extrêmement sèche l'année 2011 sévèrement sèche l'année 2003 et 2004 et 2008.



**Figure 14 :** Évolution de SPI annuelle sur la région de l’Oranie de la période (2002-2023)

### III.2.2 Conclusion :

Le cycle de l'eau étant l'une des composantes majeures du climat, les implications de ces changements sur les régimes pluviométriques sont importantes.

Les tendances des indices climatiques décrivant les événements extrêmes en termes de précipitation présentent pratiquement toutes des hausses non significatives au cours de la période d'étude (2002-2023).

Les indices examinés incluent PRCPTOT (total annuel des précipitations), RX1day (précipitation maximale sur un jour), RX5day (précipitation maximale sur cinq jours), R95p (jours très pluvieux), R99p (jours extrêmement pluvieux), CDD (jours secs consécutifs), et CWD (Jours pluvieux consécutifs).

L'indice SPI se révèle efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Cet indice a révélé une alternance d'années sèches et humides pendant la période 2002 à 2023 et pour toutes les stations. jours pluvieux consécutifs

# *Conclusion générale*

## **CONCLUSION GENERALE :**

Le changement climatique est par définition un phénomène dangereux impactant l'équilibre du climat. C'est un changement inhabituel des caractéristiques climatiques et de l'atmosphère terrestre. Son histoire a commencé avec la révolution industrielle, les gaz à effet de serre émis par les industries et les usines polluantes sont la cause principale de ce problème.

Comme bien des pays d'Afrique, les conséquences d'un temps extrême ou qui n'est pas de saison n'ont pas épargnées l'Algérie. Connue pour son climat aride et semi-aride, la région est extrêmement sujette aux changements climatiques. Ces dernières années, un accroissement d'événements dus au temps extrême a été observé.

À l'instar des pays de la rive sud de la méditerranée, l'Algérie n'est pas à l'abri du réchauffement climatique et subit ses conséquences nuisibles.

En effet, les observations mondiales et les modélisations climatiques indiquent une intensification systématique des précipitations de courte durée dans les climats plus chauds, cependant, tout porte à croire que fondamentalement, l'intensité des précipitations extrêmes liée très étroitement à la température : plus la température augmente, plus l'intensité des précipitations augmente.

Par conséquent, le réchauffement climatique est susceptible d'entraîner une augmentation des précipitations extrêmes.

L'Algérie a connu, au cours de ces trente dernières années, une variabilité pluviométrique importante dans l'espace et dans le temps. Cette variabilité, caractérisée par un important déficit pluviométrique, a eu un impact négatif sur le régime d'écoulement des oueds, sur l'alimentation de la nappe phréatique et sur le niveau de remplissage des barrages, dont les conséquences sont souvent catastrophiques sur le développement socioéconomique du pays.

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat tant pour les populations que pour les écosystèmes. Elles sont faciles à mesurer. Autant de raisons qui font que la plupart des études et analyses portent sur les précipitations bien plus que sur d'autres paramètres du climat.

Caractériser l'impact de la variabilité climatique sur les régimes pluviométriques saisonniers devient alors indispensable pour proposer des solutions adaptées aux projets de développement.

Le but de ce travail est d'étudier la variabilité de précipitation spatio-temporelle de la région de l'Oranie située à l'extrême nord-ouest de l'Algérie.

Notre zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen. Les dernières décennies cette région très vulnérable à la variabilité climatique notamment les variabilités des précipitations qui sont devenues sensiblement décroissante (diminution des précipitations annuelles et augmentation des extrêmes).



## *Conclusion générale*

L'indice SPI (Indice pluviométrique standardisé) et les indices des extrêmes climatiques de la pluviométrie était un outil très intéressant pour suivre la variabilité dans l'espace et dans le temps.

A cet effet, six stations (météorologiques) de référence relatives à des différentes situations géographiques (littoral, zones intérieurs et hauts plateaux) ont servi de cadre à notre étude.

Les logiciels RStudio Version 2022.02.2, et RClimDex V1.0 ont été utilisés pour l'analyse de la variabilité des extrêmes climatiques.

L'analyse des extrêmes de pluies a été possible grâce au calcul des indices à savoir l'indice PRCPTOT (total annuel des précipitations), le RX1day (précipitation maximale sur un jour), le RX5day (précipitation maximale sur cinq jours), le R95p (jours très pluvieux), le R99p (jours extrêmement pluvieux), le CDD (jours secs consécutifs), le CWD (jours pluvieux consécutifs) et l'indice SPI (Indice pluviométrique standardisé).

Les tendances des indices climatiques décrivant les événements extrêmes en termes de précipitation présentent pratiquement toutes des hausses non significatives au cours de la période d'étude (2002-2023).

Les résultats de l'application de ces différents indices montrent une alternance des périodes sèches et des périodes humides pour l'ensemble de la région étudiée

Comme perspective, ce travail sera beaucoup plus intéressant et même valorisé à travers plusieurs domaines liés aux précipitations particulièrement la gestion agricole dans la zone de l'Oranie et de mettre en place le modèle de gestion de l'eau le plus performant.

## Bibliographie

1. AGUILAR E., T.C. PETERSON, P. RAMREZ OBANDO, R. FRUTOS, J.A. RETANA, M. SOLERA, J. SOLEY, I. GONZALEZ GARCIA, R.M. ARAUJO, A. ROSA SANTOS, V.E. VALLE, M. BRUNET, L. AGUILAR, L.A. LVAREZ, M. BAUTISTA, C. CASTANON, L. HERRERA, E. RUANO, J.J. SINAY, E. SANCHEZ, G.I. HERNANDEZ OVIEDO, F. OBED, J.E. SALGADO, J.L. VAZQUEZ, M. BACA, M. GUTIERREZ, C. CENTELLA, J. ESPINOSA, D. MARTINEZ, B. OLMEDO, C.E. OJEDA ESPINOZA, R. NUNEZ, M. HAYLOCK, H. BENAVIDES et R. MAYORGA (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res.*, 110 (D23107), 1-15.
2. ALEXANDER L.V., X. ZHANG, T.C. PETERSON, J. CAESAR, B. GLEASON, A.M.G. KLEIN TANK, M. HAYLOCK, D. COLLINS, B. TREWIN, F. RAHIMZADEH, A. TAGIPOUR, K. RUPA KUMAR, J. REVADEKAR, G. GRIFFITHS, L. VINCENT, D.B. STEPHENSON, J. BURN, E. AGUILAR, M. BRUNET, M. TAYLOR, M. NEW, P. ZHAI, M. RUSTICUCCI et J. L. VAZQUEZ AGUIRRE (2005). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111 (D05109), 1-22.
3. ALPERT P., T. BEN-GAI, A. BAHARD, Y. BENJAMINI, D. YEKUTIELI, M. COLACINO, L. DIODATO, C. RAMIS, V. HOMAR, R. ROMERO, S. MICHAELIDES et A. MANES (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophys. Res. Lett.*, 29, 1-4.
4. [ **BEN.** ] 2008 , Les Indices climatiques et leurs significations écologiques en Algérie orientale. Centre Université Constantine.
5. BRUNETTI M., M. MAUGERI et T. NANNI (2001). Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in northeastern Italy. *Int. J. Climatol.*, 21, 861-871.
6. BUFFONI L., M. MAUGERI et T. NANNI (1999). Precipitation in Italy from 1833-1996. *Theor. Appl. Climatol.*, 63, 33-40.
7. BYUN H.R. et D.A. WILHITE (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *J. Clim.*, 12, 2747-2756.
8. CHAOUCHE K., L. NEPPEL, C. DIEULIN, N. PUJOL, B. LADOUCHE, E. MARTIN, D. SALAS et Y. CABALLERO (2010). Analyses of precipitation, temperature and evapotranspiration in a French Mediterranean region in the context of climate change. *C.R. Geosci.*, 342, 234-243.
9. CHRISTENSEN J.H., B. HEWITSON, A. BUSUIJAC, A. CHEN, X. GAO, I. HELD, R. JONES, R.K. KOLLI, W.T. KWON, R. LAPRISE, V. MAGAÑA RUEDA, L. MEARS, C.G. MENÉNDEZ, J. RÄISÄNEN, A. RINKE, A. SARR et P. WHETTON (2007) Regional climate projections. Dans : *Climate change 2007: the physical sciences basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. SOLOMON S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR et H.L. MILLER (éd.), Cambridge University Press, Cambridge/New York, États-Unis, Chap. 11, pp. 847-940.
10. CLIMATE VARIABILITY AND PREDICTABILITY (CLIVAR) (2017). Expert team on climate change detection and indices (ETCCDI) du groupe conjoint de la Commission de climatologie et du CLIVAR. CCI/CLIVAR/JCOMM. <http://www.clivar.org> (consultation le 11 juillet 2017).
11. EXPERT TEAM ON CLIMATE CHANGE DETECTION AND INDICES (ETCCDI) (2016). RClimDex, version 1.0. <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml> (consultation le 7 juillet 2016).
12. [ FILAHI S., MOUHIR L., TANARHTE M., TRAMBLAY Y. ] Liège 2015 mémoire Tendances et variabilité des événements extrêmes au Maroc. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie.
13. HALLOUZ F., M. MEDDI et G. MAHE (2013). Modification du régime hydroclimatique dans le Bassin de l'oued Mina (Nord-Ouest d'Algérie). *J. Water Sci.*, 26, 33-38.

14. HALLOUZ F. (2014). *Transport solide dans le bassin d'El Oued Mina et sédimentation du barrage SMBA*. Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure d'Hydraulique de Blida, Algérie, 219 p.
15. JACOBEIT J., E. HERTIG, S. SEUBERT et K. LUTZ (2014). Application of statistical methods for regional climate change projections in the Mediterranean area. *Reg. Environ. Change*, 14, 1891-1906.
16. [ KERTALI Fouzia ] , 2019 Étude de comblement de lacunes : Cas des séries pluviométriques observées du réseau de l'ONM. *JAMA*, Vol. 3, 49-58 .
17. KIOUTSIUKIS I., D. MELAS et C. ZEREFOS (2010). Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955-2002). *Int. J. Climatol.*, 30, 1723-1737.
18. LABORDE J.P., P. GOUBESVILLE, M. ASSABA, A. DEMMAK et L. BELHOULI (2010). Climate evolution and possible effects on surface water resources of North Algeria. *Curr. Sci.*, 98, 1-7.
19. LANA X., M.D. MARTINEZ, C. SERRA et A. BURGUENO (2004). Spatial and temporal variability of the daily rainfall regime in Catalonia (Northeastern Spain) 1950-2000. *Int. J. Climatol.*, 24, 613-641.
20. LEHMANN E.L et H.J.M. D'ABRERA (1976). *Nonparametrics: statistical methods based on ranks*. Holden-Day, San Francisco, États-Unis, 457 p.
21. MANSOURI Siham (2012) mémoire sur LES PELOUSES de l'ORANIE : Flore et Phytoécologie
22. MASSOUANGUI KIFOUALA M. et A. KANGA (2012). *Analyse des indices des extrêmes climatiques et hydrologiques en République du Congo de 1950 à 2012*. Ministère de l'Économie Forestière et du Développement Durable (MEFDD), Programme d'adaptation en Afrique (PPA), Rapport de consultance, Congo, 123 p.
23. MEDDI M. et J. HUMBERT (2000). Variabilité pluviométrique dans l'Ouest algérien durant les cinq dernières décennies. *13<sup>e</sup> colloque de l'Association internationale de climatologie*, 6-8 septembre 2000, Nice, France.
24. MEDDI H. et M. MEDDI (2007). Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du Nord-Ouest de l'Algérie. *Geographia Technica*, 2, 49-55.
25. MEDDI M., A. ASSANI et H. MEDDI (2010). Temporal variability of annual rainfall in the Macta and Tafna catchments, Northwestern Algeria. *Water Resour. Manage.*, 24, 3817-3833.
27. [ OMM ] (April 19, 2016) Troisième conférence mondiale sur le climat, Nouvelles du climat mondial, 34, janvier, [www.wmo.ch](http://www.wmo.ch)
28. ORGANISATION METEOROLOGIQUE MONDIALE (OMM) (2013). 2001-2010, une décennie d'extrêmes climatiques. Communiqué de presse No 976.
29. GHODBANI .T (2009) .Mémoire DOCTORAT. Environnement et littoralisation dans l'Ouest algérien
30. TAIBI S., M. MEDDI et G. MAHE (2015a). Évolution des pluies extrêmes dans le bassin du Chélif (Algérie) au cours des 40 dernières années 1971-2010. *Proc. IAHS*, 369, 175-180.
31. TAIBI S., M. MEDDI, G. MAHÉ et A. ASSANI (2015b). Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall. *Theor. Appl. Climatol.*, 127, 241-257.
32. TALIA A. (2002). *Évolution des régimes pluviométrique et hydrologique du Nord de l'Algérie*. Mémoire de magister, Centre Universitaire de Mascara, Algérie, 162 p.
33. HALLOUZ F et al 2019 : Tendances des précipitations et évolution des écoulements dans un cadre de changement climatique : bassin versant de l'oued Mina en Algérie.

## WEBOGRAPHIE

<http://www.meteomanz.com/index?l=1>

[http://www.wmo.int/datastat/documents/WCDMP 72 TD 1500 en 1 1.pdf](http://www.wmo.int/datastat/documents/WCDMP_72_TD_1500_en_1_1.pdf)

<https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/>

[https://www.climatol.eu/homog\\_climatol-fr.pdf](https://www.climatol.eu/homog_climatol-fr.pdf)

<https://www.climatol.eu>

<https://cran.r-project.org/web/packages/climatol/index.html>

<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

[https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/Climatologie\\_cours\\_ch4L3.pdf](https://iast.univ-setif.dz/documents/Cours/Climatologie_cours_ch4L3.pdf)

## Annexe :

### Principe du test « Mann Kendall » :

Soit la série  $X_i$ ,  $i$  variant de 1 à  $n$ . On calcule pour chaque élément, le nombre d'élément qui le précède et qui lui sont inférieurs et l'on fait la somme de ces nombres  $(t)$ . Plus  $(t)$  est grand et plus l'organisation de la série est importante.

La variable  $(t)$  est distribuée selon une loi normale avec :

$$E(t) = n.(n-1)/4 ; \text{Var}(t) = n.(n-1).(2n+5)/72$$

On cherche la probabilité  $\alpha$  à l'aide de la loi normale centrée réduite

tel que  $\alpha = \text{prob} (|u| > u(t))$  avec :  $u(t) = (t - E(t)) / \sqrt{\text{var}(t)}$

L'hypothèse nulle (absence de tendance) est acceptée ou rejetée au niveau de signification pour un seuil de  $\alpha_0 = 0.05$  selon que l'on a  $\alpha > \alpha_0$  ou  $\alpha < \alpha_0$ .

- Lorsque les valeurs de  $u(t)$  sont significatives [Sneyers.R, 1975], on conclut à une tendance croissante ou décroissante selon que  $u(t)$  est positif ou négatif.
- Une tendance est considérée significative si la p-value relative au test est inférieure à 0.05 ; soit une significativité au seuil 95%.