

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS MOSTAGANEM
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET DES SCIENCES
DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Sciences Agronomiques

Option : Gestion conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

Thème :

*Contribution à l'étude pluviométrique
de la région des hauts plateaux (centre et ouest)
d'Algérie*

Présenté par :

M^{elle} LABBAOUI Sarah

Devant les membres du jury :

Président: M^r HADDAD Ahmed

Pr Université de Mostaganem

Encadreur : M^r BOUALEM AEK

Mcb Université de Mostaganem

Examineur : M^r TAHRI Miloud

Mcb Université de Mostaganem


Année Universitaire 2018-2019

Dédicaces

Avec l'aide de dieu tout puissant on a pu achever ce modeste travail que je dédie A mon père Abdelmalek et ma mère Hafida le grand cœur sur la terre de m'avoir aidé avec leurs conseils et leur soutien moral.

En espérant que dieu leur donne la santé. A mes frères Adam et Yousef, A mes sœurs A ma promotion de GCSE - 2019- A mes amis et tous ceux qui m'aiment.

Remerciements



Nous remercions d'abord « notre Dieu » tout puissant de nous avoir donné la patience, le courage et la volonté avec amour afin de terminer ce travail.

Nous tenons aussi à remercier beaucoup mon encadreur durant la préparation de ce travail Mr Boualem Abdelkader, Nous lui exprimons notre plus grande gratitude pour nous avoir suivi, encouragés et surtout soutenu tout au long la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également Mr HADDAD Ahmed qui m'a fait l'honneur de bien vouloir juger mon travail.

Mes sincères remerciements aussi à Mr TAHRI Miloud qui a accepté d'examiner et d'évaluer ce travail.

Nous souhaitons à remercier la Direction de l'Agence National des Ressources Hydriques d'Oran pour l'aide qu'il m'a apporté.

Nous tenons à exprimer toute notre gratitude à tous les enseignants du l'université de Mostaganem d'avoir enrichi nos connaissances tout au long de notre formation.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, scientifiquement ou socialement, ont contribué à la réussite de ce travail.

Merci



TABLE DES MATIERES



INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : Aperçu générale sur la région d'étude	
I.1. Présentation de la région	3
I.1.1. Situation géographique	6
I.2. La Végétation	6
I.3. Hydrologie et hydraulique	7
Chapitre II : Analyse des données pluviométriques	
II.1. Introduction	8
II.2. Etude des précipitations	8
II.2.1. Collecte des données	8
II.2.2. Choix des stations utilisées	8
II.2.3. Contrôle de l'homogénéité des données	9
II.2.4. Les méthodes de contrôles	9
II.2.5. Test de Wilcoxon	9
II.2.5.1. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Msila	10
II.2.5.2. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Boussaâda	11
II.2.5.3. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Djelfa	12
II.2.5.4. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Ksar chellala	13
II.3. Ajustement par la loi Normale	13
II.3.1. Théorie de l'ajustement à la loi Normale	14
II.3.2. Analyse des tracés de la loi Normale	15
a) Station de Msila_.....	15
b) Station de Boussaâda_.....	16
c) Station de Djelfa_.....	17
d) Station de Ksar chellala_.....	18
II.4. Test de Khi deux	19
1) Calcul du coefficient de variation (Cv)	19
2) Théorie du test de Khi deux	19
3) Résultat du test du khi deux	21

II .5. Conclusion	22
-------------------------	----

Chapitre III : Variabilité des précipitations annuelles et mensuelles

III.1. Introduction	23
III .2. Calcul des récurrences	23
III.2.1. Calcul du module sec	23
a) Calcul du module décennal sec_.....	23
b) Calcul du module de cinquante ans (50) sec	23
c) Calcul du module centenaire sec_	23
III.2.2. Calcul du module humide	24
a) Calcul du module décennal humide_	24
b) Calcul du module de cinquante (50) ans humide_	24
c) Calcul du module centenaire humide_	24
III. 2.3. Récurrence du module théorique le plus fort	24
III.2.4. Récurrence du module théorique le plus faible	24
III.2.5. Analyse du calcul des récurrences	25
III.3. Les histogrammes des fréquences absolues des hauteurs annuelles pluie	26
Pour la station de Msila	27
Pour la station de Boussaâda	28
Pour la station de Djelfa	29
Pour la station de Ksar chellala	30
III.4. Evolution des moyennes, des minima, et des maxima des stations	31
III.5. Analyse de la tendance générale par le tracé curviligne	32
III.6. Analyses par le tracé des écarts par rapport à la moyenne annuelle	34
a) Station de Msila	35
b) Station de Boussaâda	36
c) Station de Djelfa	37
d) Station de Ksar chellala	39
III.7.Délimitation les mois secs et les mois humides	40
III.8. Conclusion_	44

Chapitre IV : Caractérisation de la sécheresse

IV. Caractérisation de la sécheresse météorologique	45
IV.1. Indices de sécheresses	45
IV.1.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em)	45

IV.1.2. Indice de pluviosité (Ip)	45
IV.1.3. Distribution selon les fréquences	46
IV.2. Indices de sévérité	46
IV.2.1. Indice du nombre d'écart type	46
IV.2.2. Indice standardisé de précipitation	47
IV.3. Analyse du calcul des indices	47
A) Pour les indices de sécheresse_.....	48
B) Pour les indices de sévérité_	48

CONCLUSION GENERALE 50

Liste bibliographique

Liste des tableaux

Chapitre II

	Page
Tableau II.1 : présentation des stations étudiées.....	8
Tableau II.2 : application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Msila.....	10
Tableau II.3 : application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Boussaâda...	11
Tableau II.4 : application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Djelfa	12
Tableau II.5 : application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Ksar chella..	13
Tableau II.6 : tableau de la fréquence des pluies annuelles (station de Msila)....	15
Tableau II.7 : tableau de la fréquence des pluies annuelles (station de Boussaâda).	16
Tableau II.8 : tableau de la fréquence des pluies annuelles (station de Djelfa).....	17
Tableau II.9 : tableau de la fréquence des pluies annuelles (station de Ksar chellal).	18
Tableau II.10 : calcul du coefficient de variation.....	19
Tableau II.11 : test de Khi deux pour la station de Msila.....	20
Tableau II.12 : test de Khi deux pour la station de Boussaâda.....	20
Tableau II.13 : test de Khi deux pour la station de Djelfa.....	21
Tableau II.14 : test de Khi deux pour la station de Ksar chellal.....	21
Tableau II.15 : résultat du test de χ^2 des précipitations annuelles des quatre stations	21

Chapitre III

Tableau III.16 : détermination de l'équation de base de la période de récurrence des quatre stations	25
Tableau III.17 : calcul des modules secs	25
Tableau III.18 : calcul des modules humides	25
Tableau III.19 : récurrence pour les pluies les plus fortes et les plus faibles.....	26
Tableau III.20 : les classes des fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Msila	27
Tableau III.21 : les classes des fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Boussaâda.....	28
Tableau III.22 : les classes des fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Djelfa	29
Tableau III.23 : les classes des fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Ksar chellala.....	30

Tableau III.24 : évolution des moyennes médianes, minima et maxima annuelles Pluviométriques	31
Tableau III.25 : analyse des tracés des écarts à la moyenne station de Msila.....	36
Tableau III.26 : analyse des tracés des écarts à la moyenne station de Boussaâda ..	37
Tableau III.27 : analyse des tracés des écarts à la moyenne station de Djelfa.....	38
Tableau III.28 : analyse des tracés des écarts à la moyenne station de Ksar chellala.	39
Tableau III.29 : délimitations des mois secs et humides des différentes stations.....	41
Tableau III.30 : présentation des précipitations moyennes mensuelles.....	42
Tableau III.31 : présentation des précipitations moyennes saisonnières.....	43

Chapitre IV

Tableau IV.32 : distribution selon les fréquences	46
Tableau IV.33 : les différentes classes de l'indice du nombre d'écart type	46
Tableau IV.34 : classe de distribution des années selon SPI	47
Tableau IV.35 : calcul des indices de sécheresse.....	49

Liste des figures

	Page
Chapitre I	
Figure I.1 :le contraste du climat en Algérie	3
Figure I.2 : localisation de la région d'étude dans la carte d'Algérie	5
Figure I.3 : barrage du Ksob dans la wilaya de Msila	6
Figure I.4 : le grand barrage de Djelfa	7
Chapitre II	
Figure II.5 : tracé de loi Normale de Msila	15
Figure II.6 : tracé de la loi Normale de Boussaâda	16
Figure II.7 : tracé de la loi Normale de Djelfa	17
Figure II.8 : tracé de la loi Normale de Ksar chellala	18
Chapitre III	
Figure III.9 : histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Msila.....	27
Figure III.10 : histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles de la station de Boussaâda	28
Figure III.11 : histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles de la station de Djelfa	29
Figure III.12 : histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles de la station de Ksar chellala	30
Figure III.13 : évolution des moyennes, minima et maxima des stations.....	31
Figure III.14 : tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Msila.....	33
Figure III.15 : tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Boussaâda	33
Figure III.16 : tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Djelfa	34
Figure III.17 : tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Ksar chellala	34
Figure III.18 : tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Msila.....	36
Figure III.19 : tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Boussaâda	37
Figure III.20 : tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Djelfa	38
Figure III.21 : tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Ksar chellala	39
Figure III.22 : précipitations moyennes mensuelles des quatre stations	42
Figure III.23 : précipitations moyennes saisonnière des quatre stations	43

Résumé :

L'eau constitue, de loin, l'élément le plus abondant de notre planète et l'essentielle matière pour les êtres vivants, sans oublier son importance et sa relation indispensable pour la santé des sols et donc de l'environnement. L'étude des processus pluviométriques dans les régions arides et semi-arides n'est plus à démontrer vu que l'eau y constitue le facteur limitant de premier ordre.

Pour traiter notre thème, on a divisé le travail en quatre chapitres, le premier est consacré à une recherche bibliographique sur la région qu'on a étudié (situation géographique, climat, végétation et hydrologie). Dans les trois restes chapitres, on a étudié la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie en utilisant le traitement statistique et l'analyse des indices de sécheresse. Aussi nous avons adopté une méthodologie qui se caractérise par la Collecte des données pluviométriques et création d'une banque de données sur ordinateur. Pour cela, on s'est basé sur les données mensuelles issues de plusieurs stations pluviométriques situées dans notre zone d'étude (hauts plateaux-centre et hauts plateaux-ouest d'Algérie).

Le calcul des indices pour les différentes stations révèle l'existence de deux périodes distinctes humide et sèche. Les années de sécheresse sont plus remarquables car elles peuvent s'installer pendant 4 ans. On constate une diminution de la pluviométrie pendant cette période d'étude mais elle est aussi interrompue par d'autres années de forte pluviométrie dans certaines régions telles que Djelfa et Ksar chellala. C'est comme si, plus on va vers le sud plus l'impact sécheresse est présent.

Mots clés : Climat, pluviométrie, sécheresse, hauts plateaux.

Abstract :

Water is by far the most abundant element of our planet and the essential material for living beings, without forgetting its importance and its essential relationship for the health of the soil and therefore of the environment. The study of rainfall processes in arid and semi-arid regions is well established, with water being the main limiting factor.

To treat our theme, we divided the work into four chapters, the first of which is devoted to a bibliographic search on the studied region (geographical situation, climate, vegetation and hydrology). In the remaining three chapters, we studied the spatio-temporal variability of precipitation using statistical processing and drought index analysis. We therefore adopted a methodology characterized by the collection of precipitation data and the creation of a computer database. For this, we have relied on monthly data from several rainfall stations located in our study area (uplands - central and uplands - western Algeria).

The calculation of the indices for the different stations reveals the existence of two distinct wet and dry periods. The years of drought are all the more remarkable as they can be established for four years. Rainfall has decreased during this period of study, but is also interrupted by other years of heavy rainfall in some areas such as Djelfa and Ksar Chellala. It is as if the further south, the more the impact of the drought is present.

Key word : climat, pluviométrie, sécheresse, hauts plateaux.

.

.

(

).

.

(

).

4

.

.

.

.

:

INTRODUCTION GENERALE

Aujourd'hui, les questions du changement climatique ou du réchauffement global de la terre font l'objet d'une attention considérable de la part de divers chercheurs du monde entier. Scientifiques, décideurs et gouvernements du monde entier cherchent à comprendre la nature des changements et des défis auxquels ils doivent faire face. L'effet du réchauffement climatique ne fait qu'augmenter par l'apparition de phénomènes météorologiques extrêmes (par exemple, les inondations, les sécheresses et les tempêtes de pluie) ainsi que les changements erratiques de la pluviométrie et de la 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 avec 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.

En Algérie, les ressources hydriques tributaires pour une large part d'une pluviométrie très irrégulière et inégalement répartie dans l'espace, demeurent modestes, eu égard également au déficit en moyens de rétention (barrages, retenues collinaires etc.). Les changements climatiques et en particulier la sécheresse qui sévit ces dernières années, essentiellement en Algérie, exacerbe davantage le problème.

Notre travail a consisté à faire une étude sur analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie, pour cela on a choisi quatre stations :

- Msila
- Boussaâda
- Djelfa
- Ksar chellala

On va essayer de répondre à quelques questions préoccupantes et fondamentales, entre autres :

- ✓ Y a-t-il une diminution des précipitations pendant cette décennie ? Pourquoi ?
- ✓ Quels sont les effets de cette variabilité ?
- ✓ Comment peu-t-on évoluer la pluviométrie de notre zone d'étude ?

Dans cette perspective, nous contribuons à étudier l'élément essentiel du bilan qui est les précipitations en utilisant le traitement statistique et l'analyse des indices de sécheresse, aussi nous avons adoptés une méthodologie qui se caractérise comme suit :

- 1- Collecte des données pluviométriques et création d'une banque de données sur l'ordinateur (EXCEL).
- 2- Prétraitement des données :
 - ❖ Test de Wilcoxon.
 - ❖ Test d'ajustement à la loi normale
 - ❖ Test du Khi deux
- 3- Traitement statistique des données et calcul des indices de sécheresse :
 - ❖ Variabilité des moyennes annuelles, moyennes mensuelles et saisonnières.
 - ❖ Caractérisation de la sécheresse à l'aide des indices.

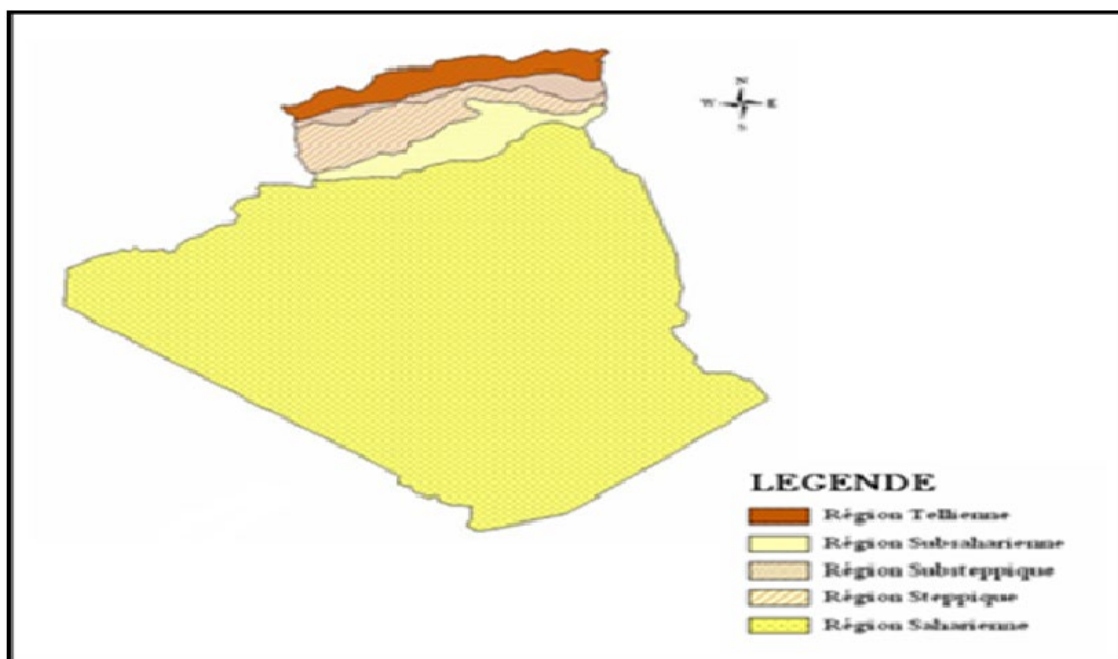
I.1. Présentation de la région

I.1.1. Situation géographique et climatique :

L'Algérie est connue soit pour son climat méditerranéen, soit pour son climat désertique: Mais c'est surtout une région où sur une courte distance et dans une même journée, on peut passer d'un temps brumeux vers un soleil éclatant, puis vers une pluie diluvienne ou même des chutes de neige. Ces variations sont principalement dues à un relief contrasté (l'Atlas Tellien), la proximité de la mer et du désert. On définit globalement:

- Une **zone tellienne**, où se concentre la majorité de la population (zone côtière couvrant 5% du territoire, au climat méditerranéen).
- Une **zone steppique**, dite des **Hauts-Plateaux**, plus aride, à végétation basse, représentant près de 360 000 km² (15% du territoire).
- Une **zone désertique**, qui couvre les 80% de la surface restante, mais dont l'environnement n'en est pas moins riche.

Figure I.1 : Le contraste du climat en Algérie



Ce qui nous concerne c'est la zone steppique (**Hauts plateaux**) : Les **Hauts Plateaux** algériens, ou **Hautes Plaines**, sont un relief bordant l'Atlas tellien au nord et l'Atlas saharien au sud. Ils parcourent en diagonale l'Algérie du Sud marocain au Nord-Ouest tunisien à une altitude moyenne de 1000 m. La végétation est de type steppique. Les étés sont généralement arides et les hivers rigoureux.

Ses principales villes sont : **Bordj Bou Arreridj, Sétif, Tiaret, Djelfa, Msila.**

Sur le plan administratif, l'ensemble territorial des Hauts Plateaux est constitué en 14 wilayas sur le total de 48 Wilayas algériennes, réparties à travers trois espaces (Hauts Plateaux-Ouest, Hauts Plateaux-Centre, Hauts Plateaux-Est) :

- l'**Est** : ce territoire est constitué par les wilayas de **Bordj Bou Arreridj, Sétif, Oum El Bouaghi, Batna, Khenchela et Tébessa**
- le **Centre** : ce territoire est constitué par les wilayas : **Djelfa, Laghouat, MSila et Tissemsilt** ;
- l'**Ouest** : ce territoire est constitué par les wilayas de : **Tiaret, Saida, Naâma et El Bayadh.**

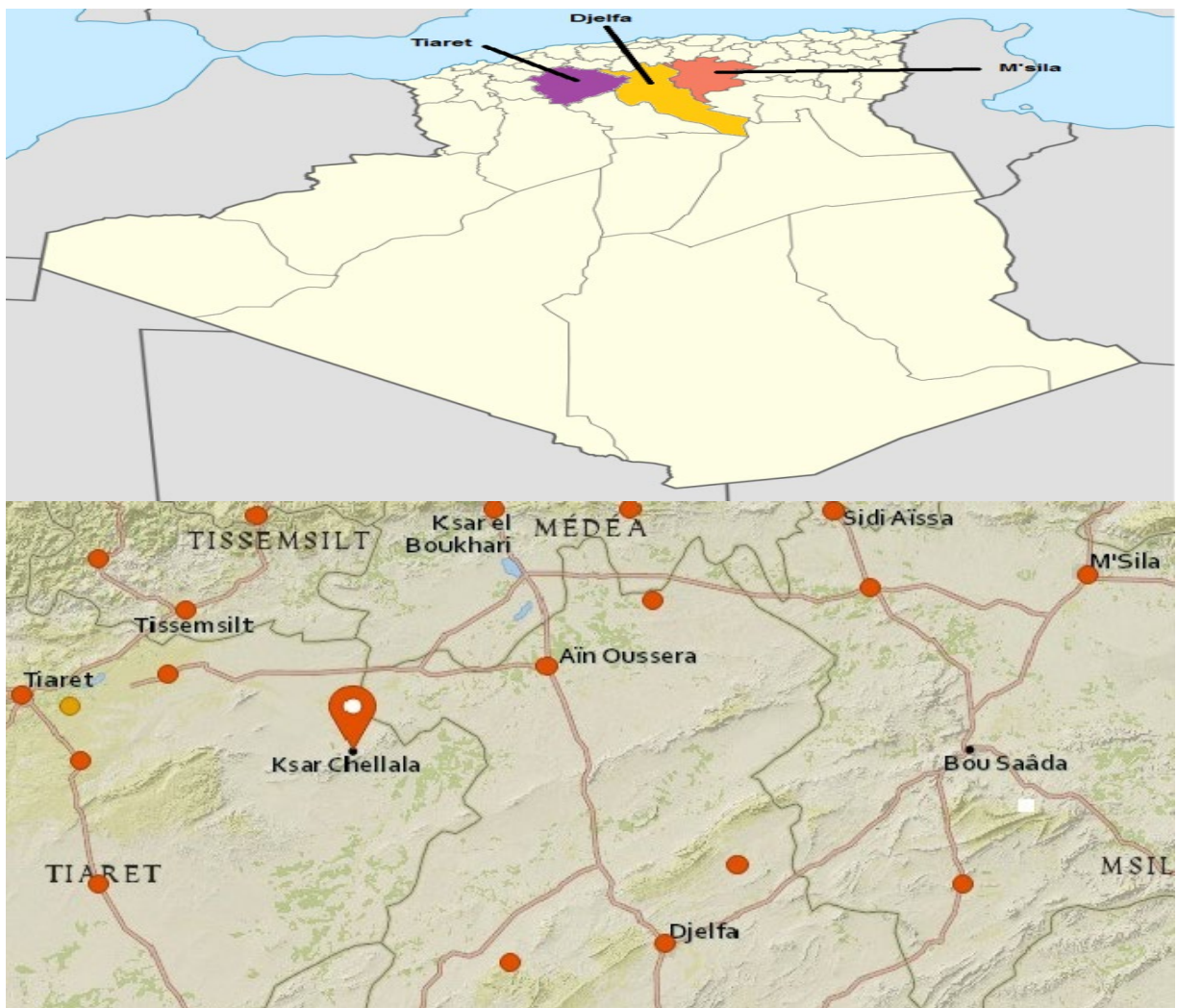
Nous somme intéressé à étudier quatre stations de ces hautes plaines :

1. **Msila (Hauts plateaux-centre)** : Sa morphologie et sa position géographique confèrent à cette région un aspect écologique unifié représenté par la prédominance de la **steppe** qui couvre 1 200 000 ha (soit **63 %** de la superficie totale) de la wilaya. La superficie affectée à **l'agriculture** représente **20 %** de la surface totale, consacrées essentiellement à la céréaliculture, à l'arboriculture et au maraîchage.
2. **Boussaâda (Hauts plateaux-centre)** : est une **commune** algérienne de la wilaya de **Msila**, située au sud-ouest du **Hodna** dans **les Hauts Plateaux**, au pied des monts des **Ouled Naïl** de l'**Atlas saharien**.

3. **Djelfa (Hauts plateaux-centre)** : Vaste de **32 256,35 km²**, son climat continental est marqué par des hivers froids et humides et des étés secs et chauds. Néanmoins, les paysages et les reliefs y sont relativement variés. Les forêts y occupent notamment **8 %** du territoire. C'est un département à vocation agro-pastorale ; la **steppe** y domine et le cheptel **ovin** est le plus important du pays (certains l'estiment à plus de 4 millions de têtes). Le marché de **Djelfa** est l'un des principaux marchés ovins d'Algérie.

4. **Ksar chellala (Hauts plateaux-ouest)** : est une **commune** algérienne de la wilaya de **Tiaret**. Elle est située à **116 km** à l'Est de **Tiaret** et à **260 km** au Sud d'Alger dans les **Hauts-plateaux**.

Figure I. 2 : Localisation de la région d'étude dans la carte d'Algérie



Cette région (Hauts plateaux), comporte deux étages :

- Semi-aride
- Aride

I.2. La Végétation

Fortement liée au sol et climat, la végétation prédominante dans les hautes plaines est celle de la steppe, qui est l'élément fondamental de la pratique par l'élevage et du pastoralisme.

Pour la wilaya de **Djelfa** : Le couvert végétal naturel de la Wilaya est constitué essentiellement de hautes steppes arides avec des vides entre les touffes de végétation sur des sols généralement maigres en contact direct avec la roche mère. Djelfa fait partie globalement de la steppe d'alfa. Cette graminée vivace occupe une grande partie du territoire de la Wilaya notamment la zone du plateau pré désertique du Sud. Les forêts occupent les chaînes de montagnes du Sénalba, du Djebel Azreg et du Djebel Boukahil. Les principales essences forestières sont le pin d'Alep, le chêne vert et le genévrier du Phénicien (arar).

I.3. Hydrologie et hydraulique

Pour la wilaya de Msila :

Cette wilaya comprend les barrages suivants:

- Barrage de Soubella.
- Barrage du **Ksob**.
- Barrage de M'djedel.
- Barrage de Koudiat Benaïda.
- Barrage de M'cif.

Figure I. 3 : Barrage du Ksob dans la wilaya de Msila



Djelfa : Hydrologie de type **endoréique** sauf dans l'extrême Nord du département avec les oueds **Ourak** et **Touil**. Il existe trois grandes nappes, **Aïn Oussera**, **Djelfa** et **Zahrez**. A **Djelfa** le débit moyen est de **400 hm³** par an.

Cette wilaya comprend les barrages suivants:

- Barrage d'Aïn Maâbed.
- Barrage de Charef.
- Barrage d'Oum Eddhrou

Figure I. 4 : Le grand barrage de Djelfa



II.1. Introduction

L'analyse des données climatiques consiste à réaliser une analyse statistique des données, de façon à faire apparaître et quantifier la variabilité spatiotemporelle du climat.

Cette variabilité peut être étudiée sur la base de l'analyse de longues séries chronologiques, continues et homogènes, de variables climatiques ou agro climatiques sur une période de dix neuf ans (19) ans, la référence actuelle étant la période **2000-2018** selon les quatre stations climatologiques de notre région.

II.2. Etude des précipitations

II.2.1. Collecte des données

Les valeurs mensuelles des précipitations ont été effectuées auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques d'Oran (A.N.R.H d'Oran). Ces valeurs représentent des totaux pluviométriques mensuels relevés à partir des documents originaux (tableaux climatologiques mensuels T.C.M) des stations de notre région d'étude.

II.2.2. Choix des stations étudiées

Pour effectuer notre étude, nous avons choisi quatre stations localisées dans les hauts plateaux Centre et Ouest.

Le tableau **II .1** résume, les coordonnées ainsi que la période d'observation enregistrées au niveau de ces quatre stations.

Tableau II .1 : Présentation des stations étudiées

Station	Latitude	Longitude	Altitude	Période d'étude
Msila	35°42'07" N	4°32'49" E	442	2000-2018
Boussaâda	35°13'09" N	4°10'54" E	461	2000-2018
Djelfa	34°40' N	3°15' E	1144	2000-2018
Ksar chellal	35°13' N	2°19' E	801	2000-2018

II.2.3. Contrôle de l'homogénéité des données

Parfois l'étude des séries chronologiques met en évidence des changements de valeurs qui surviennent brusquement et se maintiennent ultérieurement et se traduisent par une modification progressive mais systématique de ces valeurs. L'analyse statistique des séries observées exige de celles-ci une homogénéité de leurs composantes.

II.2.4. Les méthodes de contrôles

Il existe plusieurs méthodes pour tester l'homogénéité :

- Méthode du double cumul (double masse).
- Méthode de régression linéaire.
- Méthode des résidus cumulés.
- Test F.
- Test de Wilcoxon.

Dans notre cas ; on retiendra la méthode de Wilcoxon.

II.2.5. Test de Wilcoxon

C'est un test non paramétrique qui utilise la série des rangs des observations, au milieu de la de la série de leurs valeurs .Le test de Wilcoxon se base sur le principe suivant : Si l'échantillon X est issu d'une même population Y, l'échantillon XUY (l'union de X et Y) en est également issue.

On procède ainsi :

Soit une série d'observation de longueur N à partir de laquelle on tire deux échantillons X et Y: N₁ et N₂ sont respectivement les tailles de ces échantillons, avec : $N = N_1 + N_2$ et N₁ et N₂, on classe ensuite les valeurs de notre série par ordre croissant.

Par la suite, nous ne nous intéresserons qu'au rang de chacun des éléments des deux échantillons dans cette série. Si une valeur se répète plusieurs fois, on lui associe le rang moyen correspondant.

On calcule ensuite la somme W_x des rangs des éléments du premier dans la série commune :

$$W_x = \sum \text{rangs } x$$

Wilcoxon a montré que : dans le cas où les deux échantillons X et Y constituent une série homogène, la quantité W_x est comprise entre deux bornes W_{\max} et W_{\min} données par les formules suivantes :

$$W_{\min} = \frac{(N_1 + N_2 + 1) N_1 - 1}{2} - Z_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{12} N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)}$$

$$W_{\max} = (N + N + 1) N - W_{\min}$$

Avec :

$Z_{1-\alpha/2}$: Représente la valeur de la variable centrée réduite de la loi normale correspondant à

$Z_{1-\alpha/2}$ (au seuil de confiance de **95%**, nous avons $Z_{1-\alpha/2} = 1,96$).

Nous allons utiliser le test de Wilcoxon pour vérifier l'homogénéité des données pluviométriques des quatre stations au niveau de signification de **5%**.

II.2.5.1. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Msila

Tableau II. 2 : Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Msila

X	Y	Rangs	XUY	Origine	Rangs	XUY	Origine
195,30	132,40	1	71,4	X	11	166,0	Y
245,50	128,00	2	103,2	X	12	171,4	X
103,20	166,00	3	120,3	Y	13	172,2	Y
274,00	120,30	4	128,0	Y	14	179,5	Y
130,90	179,50	5	130,9	X	15	195,3	X
171,40	292,70	6	132,4	Y	16	207,0	Y
165,80	156,00	7	135,0	Y	17	245,5	X
71,40	172,20	8	148,5	X	18	274,0	X
148,50	135,00	9	156,0	Y	19	292,7	Y
	207,00	10	165,8	X			

On vérifie la condition suivante : $W_{\min} < W_x < W_{\max}$

On a :

$$N_1=9$$

$$N_2=10$$

$$W_{\min} = 65.5 \quad , \text{ C'est -à-dire : } 65.5 < 88 < 114.5$$

$$W_x = 88$$

$$W_{\max} = 114.5$$

➤ **La condition est donc réalisée, la série est homogène.**

II.2.5.2. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Boussaâda

Tableau II. 3 : Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Boussaâda

X	Y	Rangs	X U Y	Origine	Rangs	X U Y	Origine
72,7	203,5	1	72,7	X	11	174,8	Y
184,9	173,8	2	87,1	Y	12	184,9	X
130	241,3	3	110	Y	13	203,5	Y
257,3	116,3	4	116,3	Y	14	235,9	X
294,9	137,9	5	128	X	15	241,3	Y
295	87,1	6	128,5	Y	16	242,6	X
235,9	128,5	7	130	X	17	257,3	X
242,6	154,2	8	137,9	Y	18	294,9	X
128	110	9	154,2	Y	19	295	X
	174,8	10	173,8	Y			

On vérifie la condition suivante : $w_{\min} < w_x < w_{\max}$

On a :

$$N_1=9$$

$$N_2=10$$

$$, \text{ C'est-à- dire : } 65.5 < 109 < 114.5$$

$$W_{\min} = 65.5$$

$$W_x = 109$$

$$W_{\max} = 114.5$$

➤ **La condition est donc réalisée, la série est homogène**

II.2.5.3. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Djelfa

Tableau II. 4 : Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Djelfa

X	Y	Rangs	X U Y	Origine	Rangs	X U Y	Origine
139,5	394,7	1	139,5	X	11	281,2	Y
452,7	313,2	2	177,2	Y	12	287	X
205	328,9	3	185,6	Y	13	296	X
287	273,8	4	205	X	14	313,2	Y
376,2	239,6	5	236	X	15	328,9	Y
236	281,2	6	239,6	Y	16	376,2	X
276,9	257,6	7	245	X	17	394,7	Y
296	177,2	8	257,6	Y	18	447,3	Y
245	185,6	9	273,8	Y	19	452,7	X
	447,3	10	276,9	X			

On vérifie la condition suivante : $W_{\min} < W_x < W_{\max}$

On a :

$$N_1 = 9$$

$$N_2 = 10$$

$$W_{\min} = 65.5 \quad , \quad \text{C'est à-dire : } 65.5 < 87 < 114.5 ;$$

$$W_x = 87$$

$$W_{\max} = 114.5$$

➤ La condition est donc réalisée, la série est homogène.

II.2.5.4. Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Ksar el chellala

Tableau II. 5 : Application de la méthode de Wilcoxon sur la station de Ksarelchellala

X	Y	Rangs	XUY	Origine	Rangs	XUY	Origine
175,9	355,2	1	100,6	Y	11	259,9	Y
128,1	374	2	110,8	X	12	261	X
110,8	301	3	128,1	X	13	270	X
261	234,8	4	175,9	X	14	272,9	X
256	259,9	5	196	X	15	274	X
196	247	6	197,1	Y	16	301	Y
270	216,1	7	216,1	Y	17	355,2	Y
274	197,1	8	234,8	Y	18	374	Y
272,9	100,6	9	247	Y	19	383,2	Y
	383,2	10	256	X			

On vérifie la condition suivante : $W_{\min} < W_x < W_{\max}$

On a :

$$N_1 = 9$$

$$N_2 = 10$$

$$W_{\min} = 65.5 \quad , \quad \text{C'est à-dire : } 65.5 < 78 < 114.5 ;$$

$$W_x = 78$$

$$W_{\max} = 114.5$$

➤ **La condition est donc réalisée, la série est homogène**

II.3. Ajustement par la loi Normale

Les données recueillies peuvent subir plusieurs traitements statistiques afin de contrôler la fiabilité et la précision de cette dernière. Parmi ces traitements on peut citer l'homogénéité des données grâce à la méthode de la double masse et la régression linéaire entre autre.

Cette approche nécessite des stations de référence limitrophes à nos stations d'étude. Le manque de ces dernières nous amène à écarter cet aspect et essayer de traiter des séries de données on employant une méthode d'ajustement, celle de la loi Normale qui a seule peut résumer la fiabilité de chaque série.

II.3.1. Théorie de l'ajustement à la loi Normale

La loi Normale (la courbe en cloche symétrie au tour de la moyenne) est une fonction des probabilités continues et communément utilisée dans les calculs statistiques comme une approximation de nombreuses fonctions de probabilités ; les paramètres (espérance, variance) de la loi de Gauss sont alors ceux des fonctions de probabilités sur lesquelles s'effectue l'approximation (loi de Student, loi du χ^2). Le rôle de la loi de Gauss est donc capital dans la théorie des probabilités et dans ses applications statistiques.

En générale, la loi normale offre un bon modèle pour une variable aléatoire lorsque :

- 1) Il existe une tendance forte pour la variable à prendre une valeur centrale.
- 2) Les écarts positifs et négatifs par rapports à cette valeur centrale sont de probabilité égale.
- 3) La fréquence des écarts diminue rapidement avec l'accroissement des écarts.

La fonction de la loi Normale est déterminée par la formule suivante :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\alpha}^U e^{-\frac{U^2}{2}}$$

,Où U est la variable réduite de Gaus

$$U = \frac{X - \bar{X}}{\sigma_X}$$

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^n X_i$$

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Avec :

\bar{X} : Variable aléatoire

X : La moyenne de la variable aléatoire

σ_X : Ecart type de la variable aléatoire

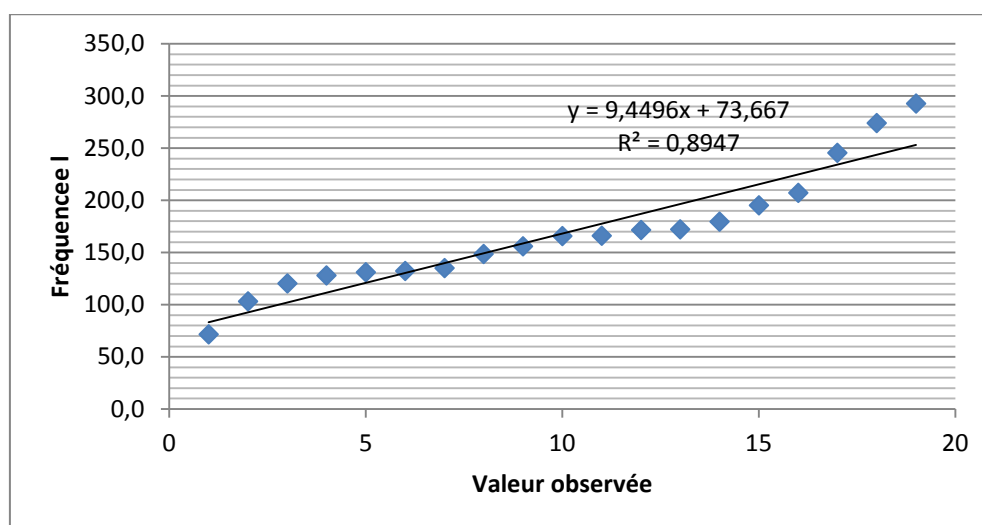
II.3.2. Analyse des tracés de la loi Normale

a) Station de Msila :

Tableau II. 6 : Tableau de la fréquence des pluies annuelles

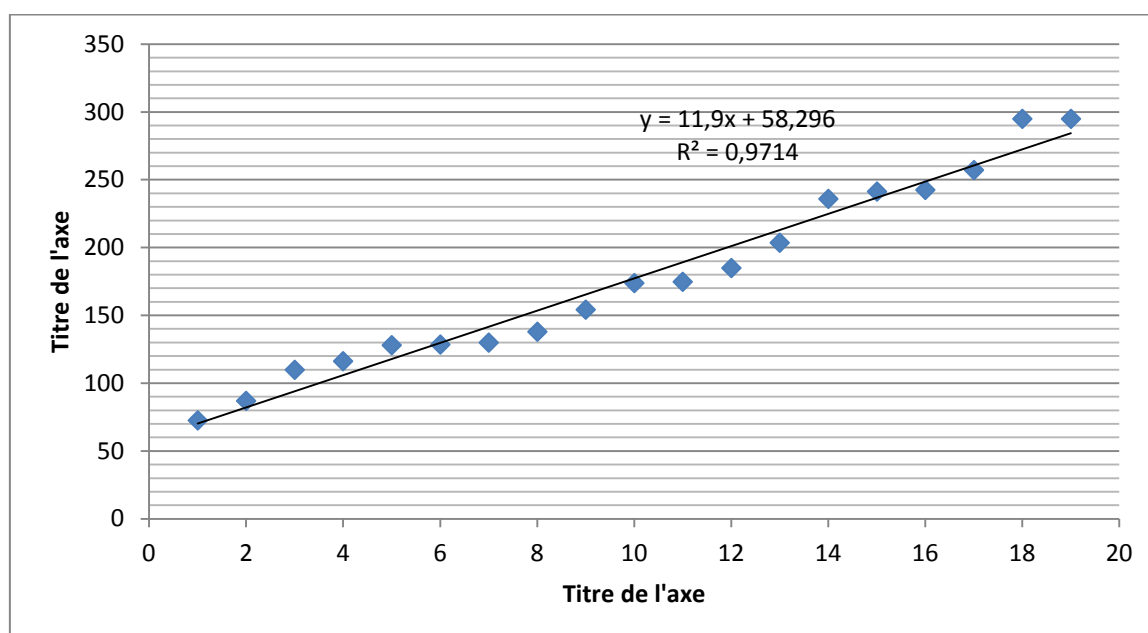
Valeur Observée	Effectif	Effectif cumulé	Fréquence $F_i = n/N+1(\%)$
71,4	1	1	5
103,2	1	2	10
120,3	1	3	15
128,0	1	4	20
130,9	1	5	25
132,4	1	6	30
135,0	1	7	35
148,5	1	8	40
156,0	1	9	45
165,8	1	10	50
166,0	1	11	55
171,4	1	12	60
172,2	1	13	65
179,5	1	14	70
195,3	1	15	75
207,0	1	16	80
245,5	1	17	85
274,0	1	18	90
292,7	1	19	95

Figure II. 5: Tracé de la loi Normale de Msila :



b) Station de Boussaâda :**Tableau II. 7 : Tableau de la fréquence des pluies annuelles**

Valeur observé	Effectif N	Effectif cumulé	Fréquence $F_i = n / N + 1(\%)$
72,7	1	1	5
87,1	1	2	10
110	1	3	15
116,3	1	4	20
128	1	5	25
128,5	1	6	30
130	1	7	35
137,9	1	8	40
154,2	1	9	45
173,8	1	10	50
174,8	1	11	55
184,9	1	12	60
203,5	1	13	65
235,9	1	14	70
241,3	1	15	75
242,6	1	16	80
257,3	1	17	85
294,9	1	18	90
295	1	19	95

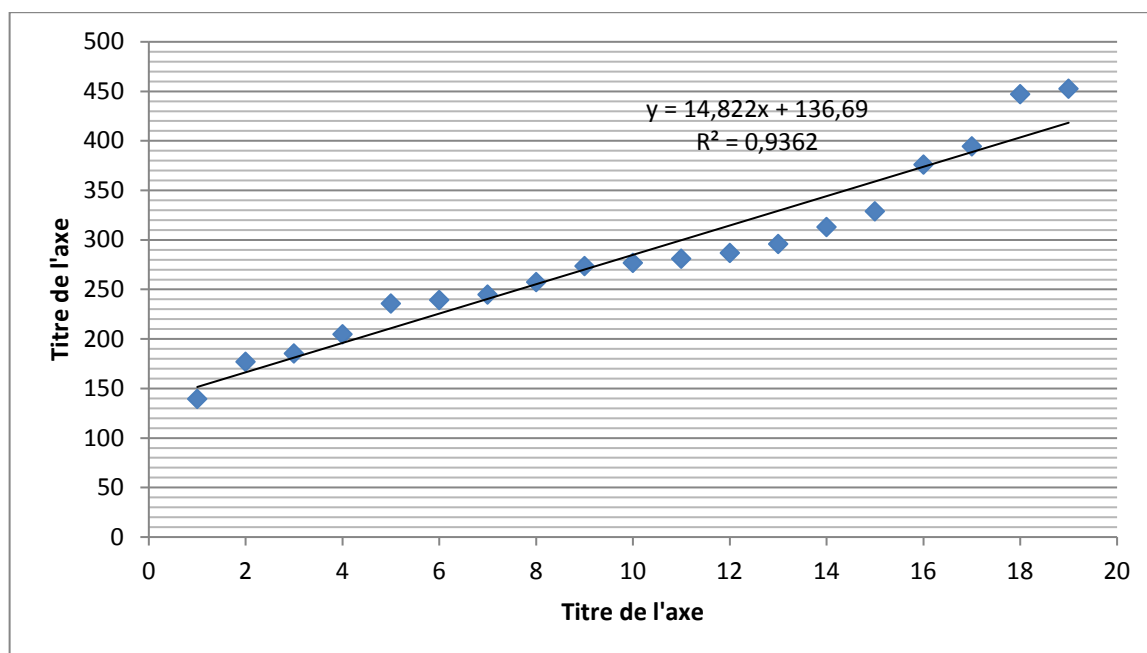
Figure II. 6 : Tracé de la loi Normale de la station de Boussaâda :

c) Station de Djelfa :

Tableau II. 8 : Tableau de la fréquence des pluies annuelles

Valeur observée	Effectif N	Effectif cumulé	Fréquence $F_i = n / N + 1$ (%)
139,5	1	1	5
177,2	1	2	10
185,6	1	3	15
205	1	4	20
236	1	5	25
239,6	1	6	30
245	1	7	35
257,6	1	8	40
273,8	1	9	45
276,9	1	10	50
281,2	1	11	55
287	1	12	60
296	1	13	65
313,2	1	14	70
328,9	1	15	75
376,2	1	16	80
394,7	1	17	85
447,3	1	18	90
452,7	1	19	95

Figure II. 7 : Tracé de la loi Normale de la station de Djelfa :

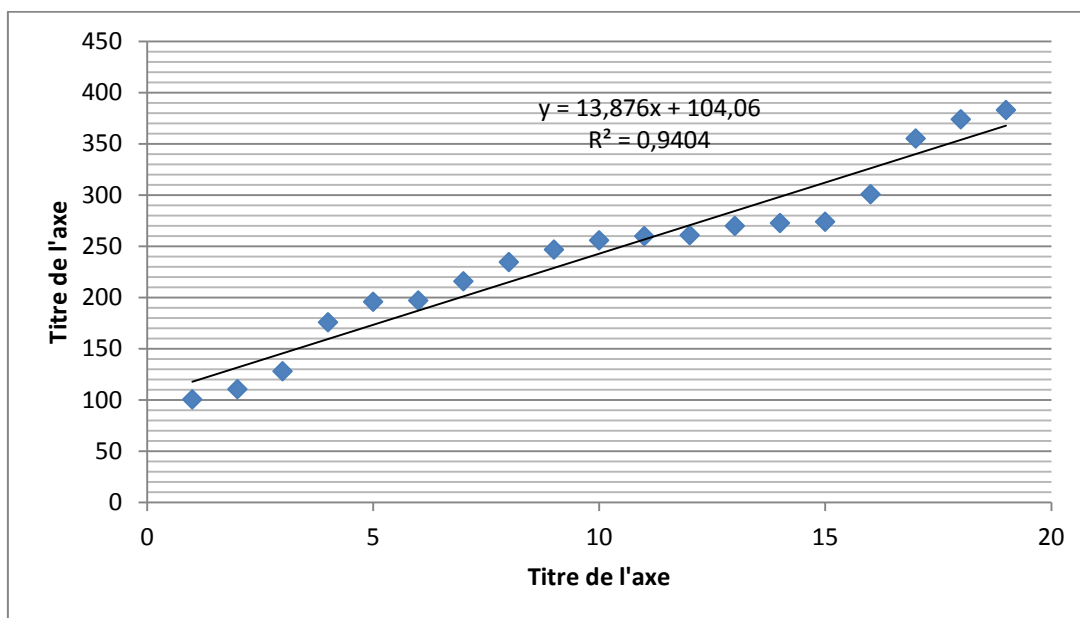


d) Station de Ksar el chellala :

Tableau II. 9 : Tableau de la fréquence des pluies annuelles

Valeur observé	Effectif n	Effectif cumulé	Fréquence $F_i = n / N + 1 (\%)$
100,6	1	1	5
110,8	1	2	10
128,1	1	3	15
175,9	1	4	20
196	1	5	25
197,1	1	6	30
216,1	1	7	35
234,8	1	8	40
247	1	9	45
256	1	10	50
259,9	1	11	55
261	1	12	60
270	1	13	65
272,9	1	14	70
274	1	15	75
301	1	16	80
355,2	1	17	85
374	1	18	90
383,2	1	19	95

Figure II. 8 : Tracé de la loi Normale de la station de Ksar el chellala :



II.4. Test de Khi deux

Avant d'effectuer le test du Khi deux nous essayerons de déterminer tout d'abord le coefficient de **variation** (Cv) qui nous indiquera si toutes les conditions sont remplies pour effectuer le test de Khi deux c'est –à-dire le coefficient de variation doit être inférieur à **0,5** pour chaque station.

1) Calcul du coefficient de variation (Cv)

C'est le rapport de l'écart type sur la moyenne. Le coefficient de variation marque numériquement l'importance du degré de variabilité des moyennes pluviométriques dans les séries ainsi que la dispersion est forte, il permet aussi de mieux comprendre la variabilité de la pluviosité et l'irrégularité des pluies.

Le coefficient de variation étant inférieur à **0,5** pour quatre stations alors on pourra procéder au calcul du Khi deux (tableau 10).

Tableau II. 10 : Calcul du coefficient de variation

Les stations	Moyenne P (mm)	L'écart type σ	$Cv = \sigma / P$
Msila	168,16	56,22	0,33
Boussaâda	177,3	67,95	0,38
Djelfa	284,92	86,2	0,3
Ksar el chellala	242,82	80,52	0,33

2) Théorie du test de Khi deux

Si **ni** représente le nombre d'échantillon observés et **npi** le nombre d'échantillon théorique calculé en fonction d'une certaine hypothèse de distribution, les tables de la loi des distributions du Khi deux permettent pour divers seuils d'adéquation d'obtenir la valeur du test à ne pas dépasser en fonction du nombre de degré de liberté de l'échantillon.

$$ddl = k - 1 \Rightarrow 4 - 1 = 3$$

Avec : ddl : degré de liberté

K : nombre de classe

C'est un test qui permet de contrôler si les écarts entre la distribution de la série de l'échantillon et la distribution de la loi théorique sont dus au simple hasard ou si l'échantillon suit une autre loi que celle retenue. L'application du test consiste à comparer l'effectif observé (n_i) à l'effectif théorique (n_{pi}) obtenu pour chaque classe, par application de la loi on a alors :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^p \frac{(n_i - n_{pi})^2}{n_{pi}}$$

Soit l'effectif théorique de classe : $n_{pi} = \frac{n}{k}$

Avec : K : le nombre de classe

n : effectif observé de classe

K : 4

Tableau II. 11 : Test de Khi deux pour la station de Msila

Classes	Limite de classe	n_i	n_{pi}	$(n_i - n_{pi})^2 / n_{pi}$
1	71.4 – 130.9	5	4,75	0,01
2	132.4 – 165.8	5	4,75	0,01
3	166 – 195.3	5	4,75	0,01
4	207 – 292.7	4	4,75	0,12
Totaux	-	$n = 19$	$n_{pi} = 19$	$\chi^2 = 0,15$

Tableau II. 12 : Test de Khi deux pour la station de Boussaâda

Classes	Limite de classe	n_i	n_{pi}	$(n_i - n_{pi})^2 / n_{pi}$
1	72.7 – 128	5	4,75	0,01
2	128.5 – 173.8	5	4,75	0,01
3	174.8 – 241.3	5	4,75	0,01
4	242.6 – 295	4	4,75	0,12
Totaux	-	$n = 19$	$n_{pi} = 19$	$\chi^2 = 0,15$

Tableau II. 13 : Test de Khi deux pour la station de Djelfa

Classes	Limite de classe	ni	npi	$(ni-npi)^2 / npi$
1	139.5 – 236	5	4,75	0,01
2	239.6 – 276.9	5	4,75	0,01
3	281.2 – 328.9	5	4,75	0,01
4	376.2 – 452.7	4	4,75	0,12
Totaux	-	n = 19	npi = 19	$\chi^2 = 0,15$

Tableau II. 14 : Test de Khi deux pour la station de Ksar el chellala

Classes	Limite de classe	ni	npi	$(ni-npi)^2 / npi$
1	100.6 – 196	5	4,75	0,01
2	197.1 – 256	5	4,75	0,01
3	259.9 – 274	5	4,75	0,01
4	301 – 383.2	4	4,75	0,12
Totaux	-	n = 19	npi = 19	$\chi^2 = 0,15$

Tableau II. 15 : Résultat du test de ζ^2 des précipitations annuelles des quatre stations

	Msila	Boussâada	Djelfa	Ksar el chellala
ζ^2 calculé	0,15	0,15	0,15	0,15
Ddl	3	3	3	3
ζ^2 tabulé	7,815			
Observation	Bon ajustement			

3) Résultat du test du khi deux

Pour un degré de liberté à 3 et pour un risque $\pm = 5\%$, le ζ^2 tabulé est égale à 7,815 puisque le ζ^2 calculé pour chaque station est inférieur au ζ^2 tabulé, donc l'adéquation a une loi normale est acceptable (voir les tableaux de calcul 11, 12, 13, 14).

II .5. Conclusion

L'analyse des différents graphes du tracé de la loi normale nous a montré que les séries peuvent être distribuées normalement. Afin de confirmer cette possibilité de distribution normale nous avons procédé au test de Khi deux qui nous a révélé que l'adéquation à une loi Normale est possible.

Alors nous allons essayer de déterminer dans le chapitre suivant les précipitations pluviométriques pour une période de précisément le calcul du module sec et humide pour les périodes de dix, cinquante et cent ans puis une étude des variations annuelles et mensuelles des précipitations pluviométriques des différents stations de la région d'étude.

III.1. Introduction

Bien que la notion de la moyenne pluviométrique estompe la réalité des faits climatiques, sa connaissance demeure nécessaire pour aborder l'étude de l'abondance des cours d'eau et surtout, les précipitations déterminent la variabilité ou, mieux, l'irrégularité inter-saisonnière et interannuelle de l'écoulement de surface.

Dans ce chapitre nous allons essayer d'étudier les différentes variations pouvant exister au sein des séries pluviométriques et leur évolution dans le temps et selon l'espace et Est - Ouest choisi.

III.2. Calcul des récurrences

Les paramètres prisent en compte pour une étude de la période de récurrence par la loi normale sont : la moyenne des précipitations, l'écart type réduit et la variable réduite de Gauss.

Le calcul de la récurrence pour les périodes de dix (10) ans, cinquante (50) ans, cent (100) ans revient à déterminer le volume des précipitations susceptible d'être atteint dans les périodes considérées.

L'équation de la période de récurrence donnée est :

$$P = \bar{X} \pm \sigma \cdot U$$

III.2.1. Calcul du module sec

$$P = \bar{X} - \sigma \cdot U$$

a. Calcul du module décennal sec

C'est la fréquence d'espacement de **0,9** à laquelle correspond $U = 1,28$ pour la variable réduite de Gauss.

b. Calcul du module de cinquante ans (50) sec

Il correspond à une fréquence d'espacement de **0,98** à laquelle correspond $U = 2,05$ pour la variable réduite de Gauss.

c. Calcul du module centenaire sec

C'est la fréquence d'espacement de **0,99** à laquelle correspond $U = 2,33$ pour la variable réduite de Gauss.

III.2.2. Calcul du module humide

$$P = \bar{X} + \sigma .U$$

a. Calcul du module décennal humide

C'est la fréquence d'espacement de **0,9** à laquelle correspond **U = 1,28** pour la variable réduite de Gauss.

b. Calcul du module de cinquante (50) ans humide

C'est la fréquence d'espacement de **0,98** à laquelle correspond **U = 2,05** pour la variable réduite de Gauss.

c. Calcul du module centenaire humide

Il correspond à une fréquence d'espacement de **0,99** à laquelle correspond **U = 2,33** pour la variable réduite de Gauss.

III. 2.3. Récurrence du module théorique le plus fort

$$\text{On a : } T = \frac{1}{1-F}$$

Avec :

T' : période de retour de la pluie la plus forte ;

F : fréquence ;

III.2.4. Récurrence du module théorique le plus faible

$$T = \frac{1}{F}$$

Avec :

T : période de retour de la pluie faible ;

Tableau III. 16 : Détermination de l'équation de base de la période de récurrence des quatre stations :

Les stations	Moyenne P (mm)	L écart type \tilde{A}	$Cv = \tilde{A} / P$	Equation
Msila	168,16	56,22	0,33	$P = 168,16 \pm 56,22U$
Boussâada	177,3	67,95	0,38	$P = 177,3 \pm 67,95U$
Djelfa	284,92	86,2	0,3	$P = 284,92 \pm 86,2U$
Ksar al chellala	242,82	80,52	0,33	$P = 242,82 \pm 80,52U$

Tableau III. 17 : Calcul des modules secs

Station	Equation	Module décennal	Module 50 ans	Module centenaire
Msila	$P = 168,16 - 56,22U$	96,20	52,91	37,17
Boussâada	$P = 177,3 - 67,95U$	90,32	38,00	18,98
Djelfa	$P = 284,92 - 86,2U$	174,58	108,21	84,07
Ksar al chellala	$P = 242,82 - 80,52U$	139,75	77,75	55,21

Tableau III. 18 : Calcul des modules humides

Station	Equation	Module décennal	Module 50 ans	Module centenaire
Msila	$P = 168,16 + 56,22U$	240,12	283,41	299,15
Boussâada	$P = 177,3 + 67,95U$	264,28	316,60	335,62
Djelfa	$P = 284,92 + 86,2U$	395,26	461,63	485,77
Ksar al chellala	$P = 242,82 + 80,52U$	345,89	407,89	430,43

III.2.5. Analyse du calcul des récurrences

Du point de vue théorique, le calcul des modules secs et humides nous a permis de constater que toutes les stations ont des modules secs faibles variant d'une région à l'autre.

Dans notre région, on constate aussi une augmentation progressive des modules humides de 10 jusqu'à 100 ans dans chaque station.

La hauteur des pluies concernant les modules humides est proportionnelle à la période de retour tandis que celle des modules secs est inversement proportionnelle.

Ainsi l'analyse du tableau 19 montre que dans toutes les stations, la pluie la plus forte et la plus faible ont la même période de retour. Ces différentes périodes de retour se trouvent dans l'intervalle : 10 à 50 ans.

Tableau III. 19 : Récurrence pour les pluies les plus fortes et les plus faibles

Les stations	Fréquence la plus faible	Fréquence la plus forte	Récurrence pour la plus faible (T)	Récurrence pour la plus forte (T')
Régions (Msila, Boussaâda, Djelfa, Ksar chellala)	0,05	0,95	20 ans	20ans

NB : on a les mêmes valeurs de fréquence et de récurrence pour toutes les stations.

III.3. Les histogrammes des fréquences absolues des hauteurs annuelles des pluies :

En statistique l'étude des mesures dues à des causes aléatoires tels que les hauteurs de pluies, ce fait selon une procédure bien définie ; on range d'abord en classe les valeurs observées, on compte ensuite les observations contenues dans chaque classe et le rapport d'un de ces nombre au nombre totale des observations est ce qu'on appelle la fréquence « **F** » de la classe considérée, par définition, la somme des fréquences est égale à l'unité.

Les fréquences des valeurs considérées se répartissent sur une courbe en cloche symétrique (courbe de Gauss) a partir de là nous avons tracés des histogrammes de fréquences, en portant en abscisses les différents classes de hauteurs de pluie et en ordonnées leurs fréquences d'observations.

Pour effectuer le tracé des histogrammes nous avons trois types de classements des séries pluviométriques:

1. Une période de **19 ans** avec un intervalle de **30 mm** par classe pour la station de **Msila**.
2. Une période de **19 ans** avec un intervalle de **50 mm** par classe pour les stations de **Boussaâda** et **Ksar chellala**.
3. Une période de **19 ans** avec un intervalle de **70 mm** pour la station de **Djelfa**.

Pour la station de Msila :

Suivant le tableau 20 et la figure 9, on constate que **50%** des données pluviométriques de la période d'étude se situe dans l'intervalle **80-170mm**, avec **11** observations sur **19**.

L'autre **50%** des données pluviométriques de notre période d'étude situe dans l'intervalle **170-20mm** et **plus**, avec **8** observations sur **19**.

Tableau III. 20 : Les classes des fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Msila :

Catégorie M'sila	Effectif	Effectif cumulé	Pourcentage %	Pourcentage cumulé %
$x < 80$	1	1	5	5
$80 < x < 110$	1	2	5	10
$110 < x < 140$	5	7	26	36
$140 < x < 170$	4	11	22	58
$170 < x < 200$	4	15	22	80
$200 < x < 230$	1	16	5	85
$230 < x < 260$	1	17	5	90
$260 \hat{A} x \hat{A} 290$	1	18	5	95
$x \hat{A} 290$	1	19	5	100

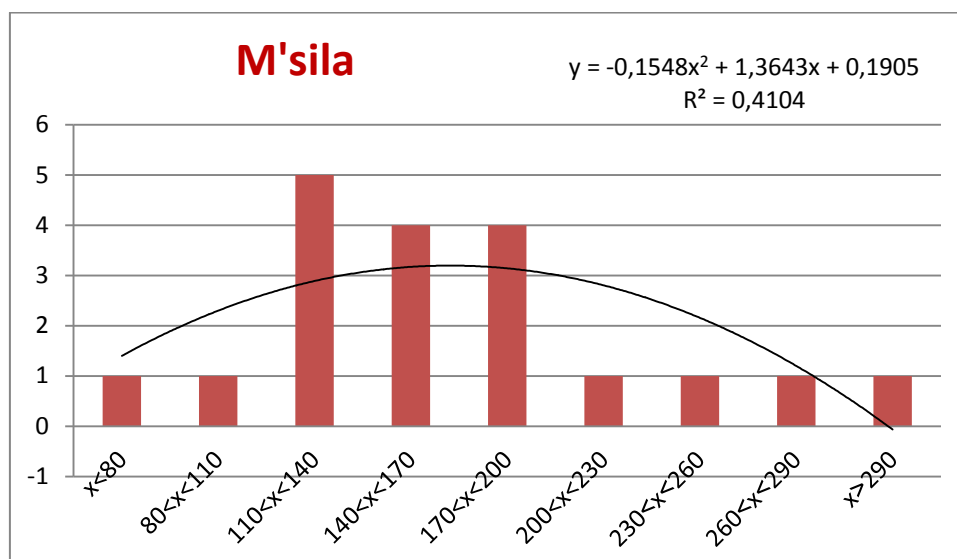


Figure III. 9 : Histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Msila

Pour la station de Boussaâda: (tableau 21 et la figure 10)

On constate que **50%** des données pluviométriques de la période d'étude se situe dans l'intervalle **80-180 mm** avec **11 observations sur 19** et la seconde moitié dans l'intervalle **180-280 mm** et plus, avec **8 observations sur 19**.

Tableau III. 21 : Les classes de fréquence des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Boussaâda

Catégorie Boussaâda	Effectif	Cumulé	Pourcentage %	Pourcentage cumulé %
$x < 80$	1	1	5	5
$80 < x < 130$	6	7	32	37
$130 < x < 180$	4	11	21	58
$180 < x < 230$	2	13	10.5	68.5
$230 < x < 280$	4	17	21	89.5
$280 < x$	2	19	10.5	100

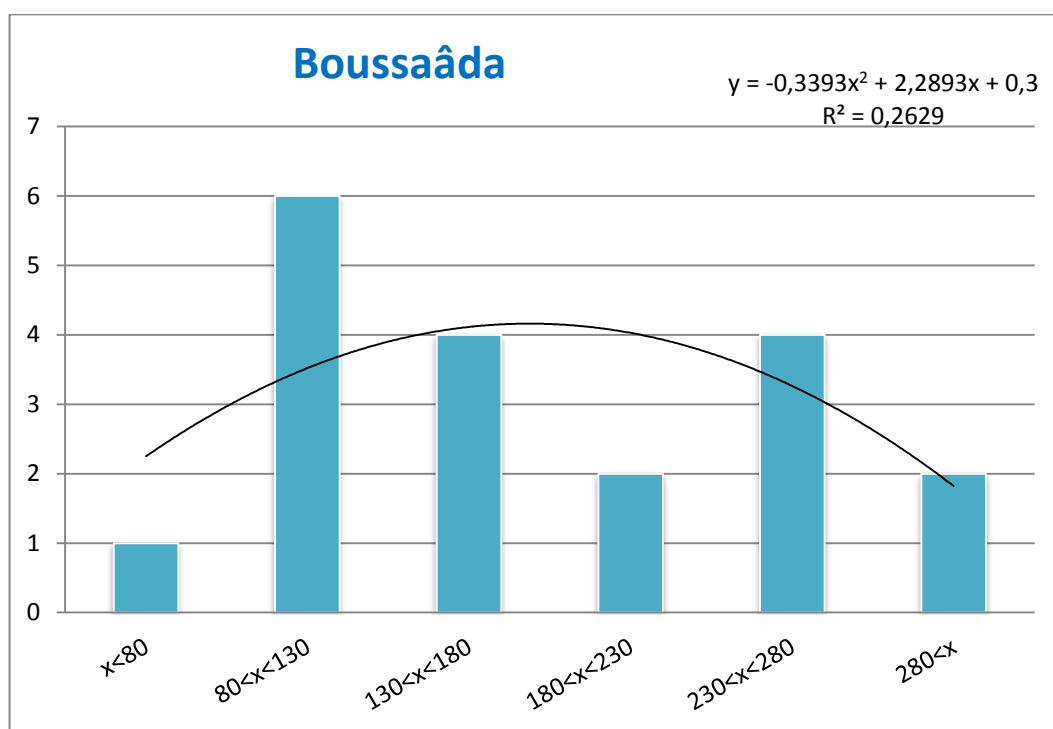


Figure III. 10 : Histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Boussaâda

Pour la station de Djelfa: (tableau 22 et la figure 11)

50% des données pluviométriques de la période d'étude se situe dans l'intervalle 140-280 mm, avec 10 observations sur 19, et l'autre 50% se situe dans l'intervalle 280-420 mm et plus.

Tableau III. 22 : Les classes des fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Djelfa

Catégorie Djelfa	Effectif	Cumulé	Pourcentage %	Pourcentage cumulé %
$x < 140$	1	1	5	5
$140 < x < 210$	3	4	16	21
$210 < x < 280$	6	10	32	53
$280 < x < 350$	5	15	27	80
$350 < x < 420$	2	17	10	90
$420 < x$	2	19	10	100

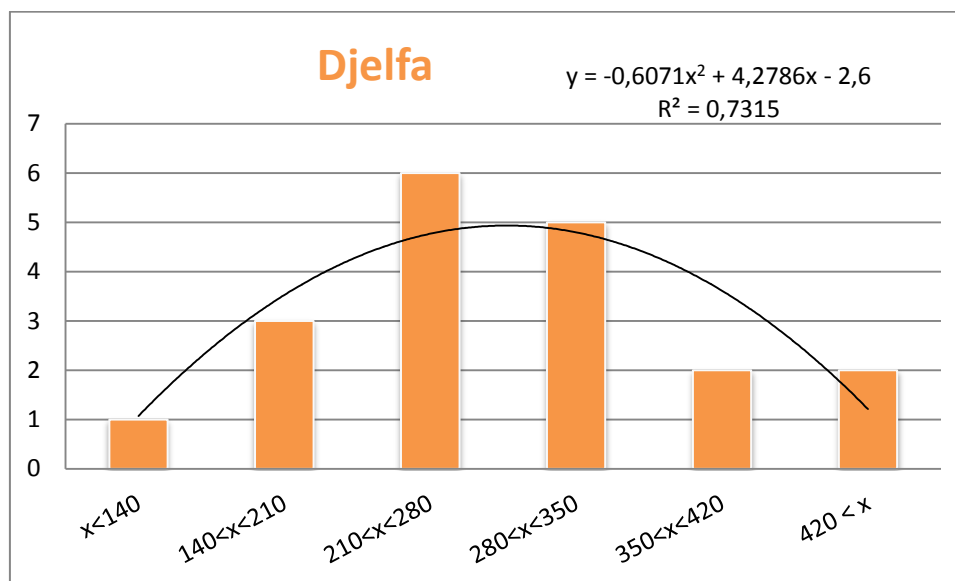


Figure III.11 : Histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Djelfa

Pour la station de Ksar el chellala: (tableau 23 et la figure 12)

On remarque que **50%** des données pluviométriques de notre période d'étude se trouve dans l'intervalle **110-260 mm**, avec **11** observations sur **19**.

L'autre **50%** se situe dans l'intervalle **260-360 mm** et **plus** avec **8** observations sur **19**.

Tableau III. 23 : Les classes de fréquences des moyennes annuelles pluviométriques de la station de Ksar chellala

Catégorie de Ksar el chellala	Effectif	Cumulé	Pourcentage %	Pourcentage cumulé %
$x < 110$	1	1	5	5
$110 < x < 160$	2	3	11	16
$160 < x < 210$	3	6	16	32
$210 < x < 260$	5	11	26	58
$260 < x < 310$	5	16	26	84
$310 < x < 360$	1	17	5	89
$360 < x$	2	19	11	100

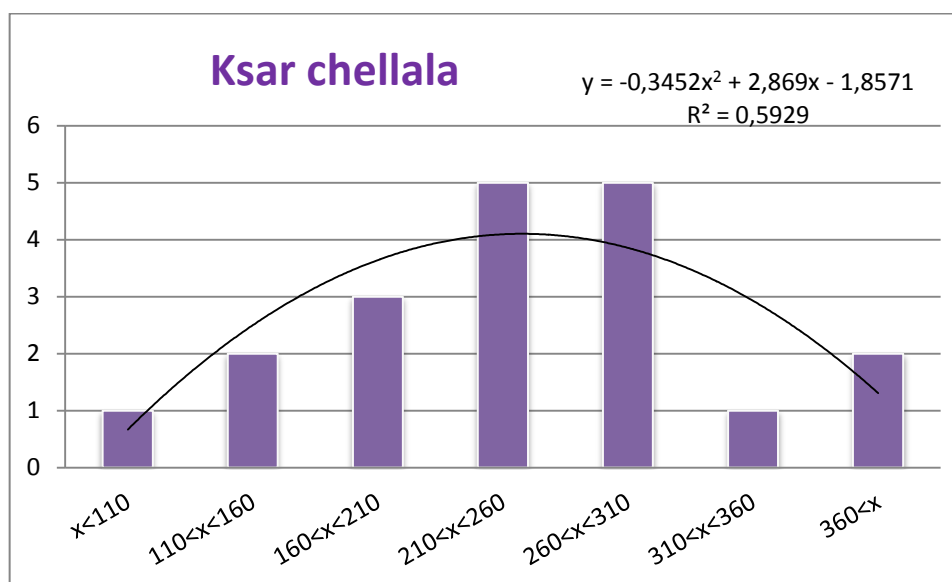


Figure III. 12 : Histogramme des classes de fréquence des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Ksar chellala

III.4. Evolution des moyennes, des minima, et des maxima des stations

L'analyse de la figure 13 nous a permis de retirer des remarques très importantes concernant les quatre stations :

- ✓ Le minimum, la moyenne et le maximum de **Msila** sont sensiblement égale à la station de **Boussaâda**.
- ✓ La station de **Msila** a le minimum, la moyenne et le maximum les plus faibles par rapport aux autres stations.
- ✓ le maximum le plus élevé se trouve au niveau de la station de **Djelfa**.
- ✓ Du point de vue évolution de la pluviométrie des stations, on remarque que la moyenne augmente du l'Est vers l'Ouest.

Tableau III. 24 : Evolution des moyennes médianes, minima et maxima annuelles pluviométriques

Station	Minimum (mm)	Moyenne (mm)	Maximum (mm)
Msila	71,4	168.16	292.7
Boussaâda	72.7	177.3	295
Djelfa	139.5	284.92	452.7
Ksar el chellala	100.6	242.82	383.2

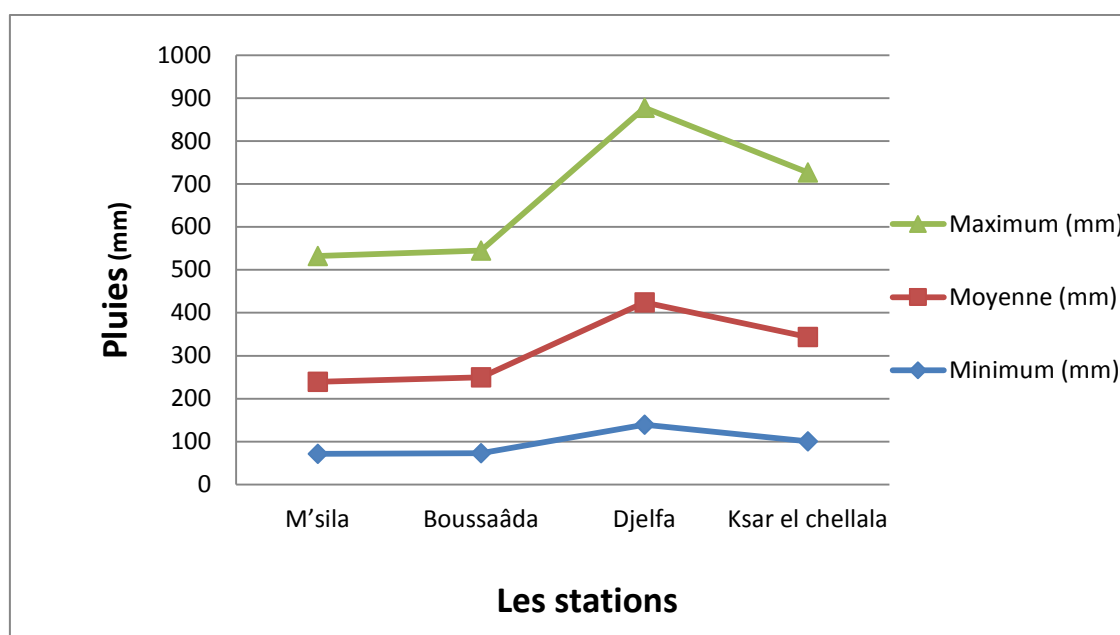


Figure III. 13 : Evolution des moyennes, des minimas et maximas des stations

III.5. Analyse de la tendance générale par le tracé curviligne

Les tracés curvilignes simples sont utilisés pour visualiser et représenter des séquences de valeurs (souvent lorsque l'ordre des valeurs est significatif). Une application type des tracés séquentiels curviligne est de tracer des fonctions continues comme des fonctions d'ajustement ou des distributions théoriques.

La tendance générale qui émerge de la lecture des différentes courbes (voir figure 14, 15, 16 et 17) de l'évolution des moyennes annuelles des précipitations, est caractérisée par : accroissement et décroissement et stabilité des valeurs des stations.

L'augmentation ou la diminution effective de la pluviométrie n'empêche pas d'avoir un écart pluviométrique considérable entre les années qui se succèdent. Toute fois on constate une similarité dans l'évolution de la pluviométrie des quatre stations entre les années 2000-2018.

Après l'analyse de ces 4 tracés (figure 14 à 17), les années de forte pluviométrie pour les stations sont :

- Année **2014** pour la station de **Msila**.
- Années **2004** et **2005** pour la station de **Boussaâda**.
- Année **2001** pour la station de **Djelfa**.
- Année **2018** pour la station de **Ksar chellala**.

D'autre part, Pour les années de faible pluviométrie, on a noté :

- Année **2007** pour la station de **Msila** avec **71.4 mm**.
- Année **2000** pour la station de **Boussaâda** avec **72.7 mm**, et **Djelfa** avec **139.5 mm**.
- Année **2017** pour la station de **Ksar chellala** avec **100.6 mm**.

A l'aide du tracé des écarts à la moyenne annuelle nous allons essayer d'identifier les années sèches et humides dans les quatre stations.

Figure III. 14 : Tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Msila

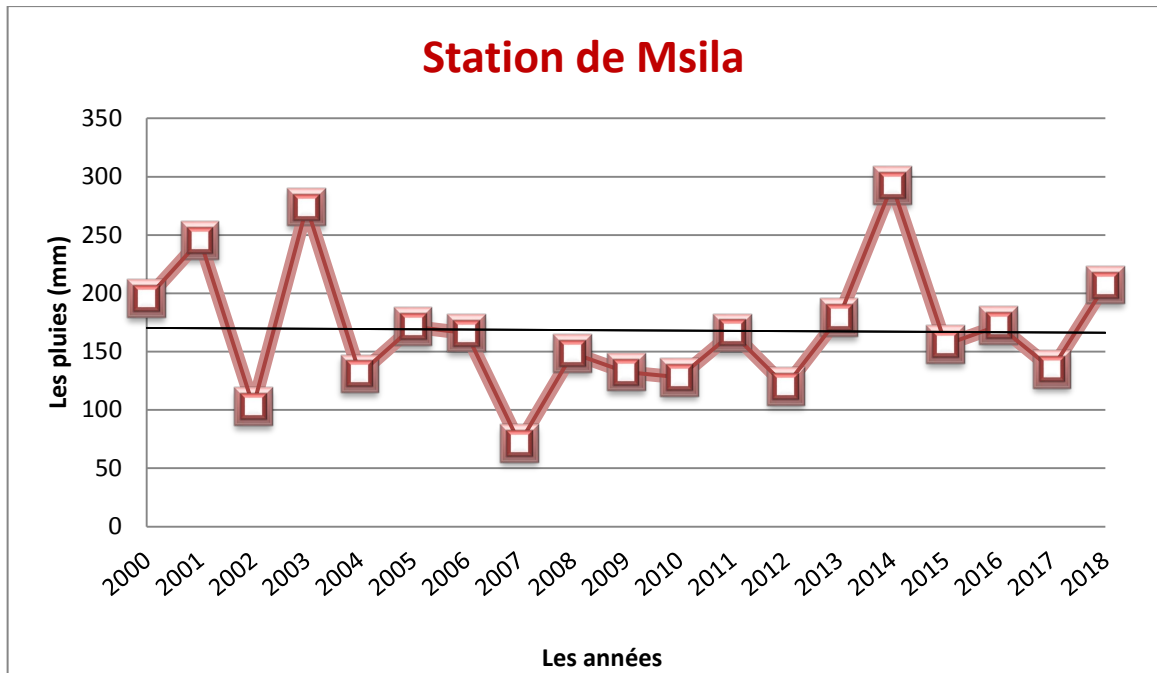


Figure III.15 : Tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Boussaâda

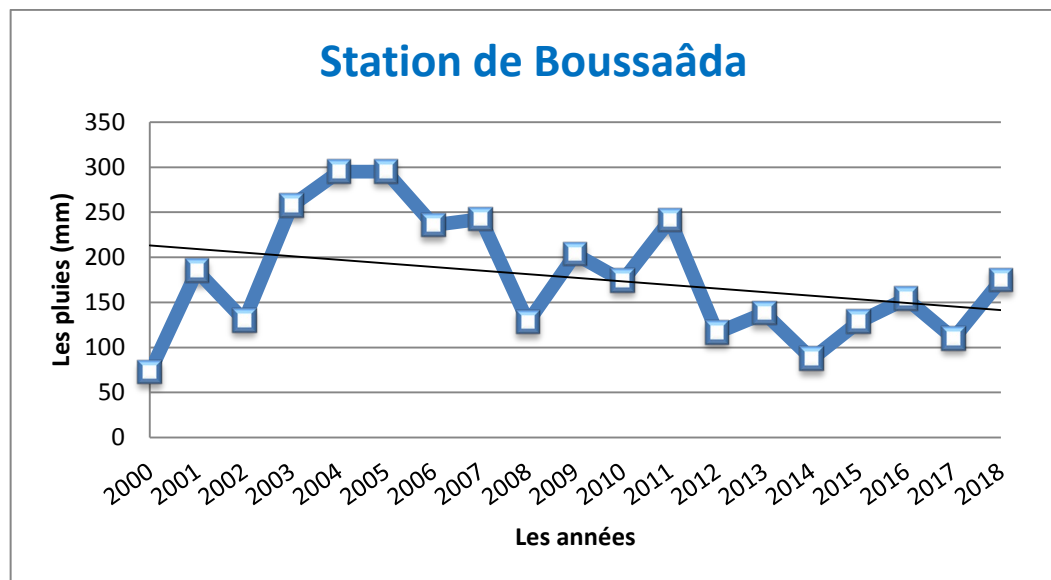


Figure III.16 : Tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Djelfa

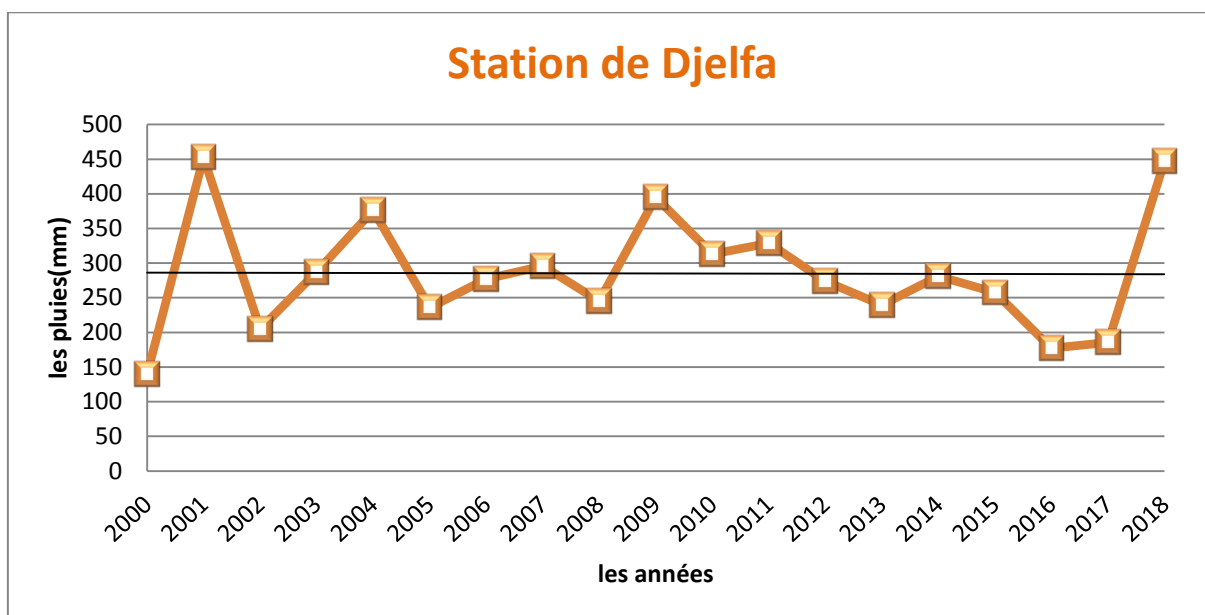
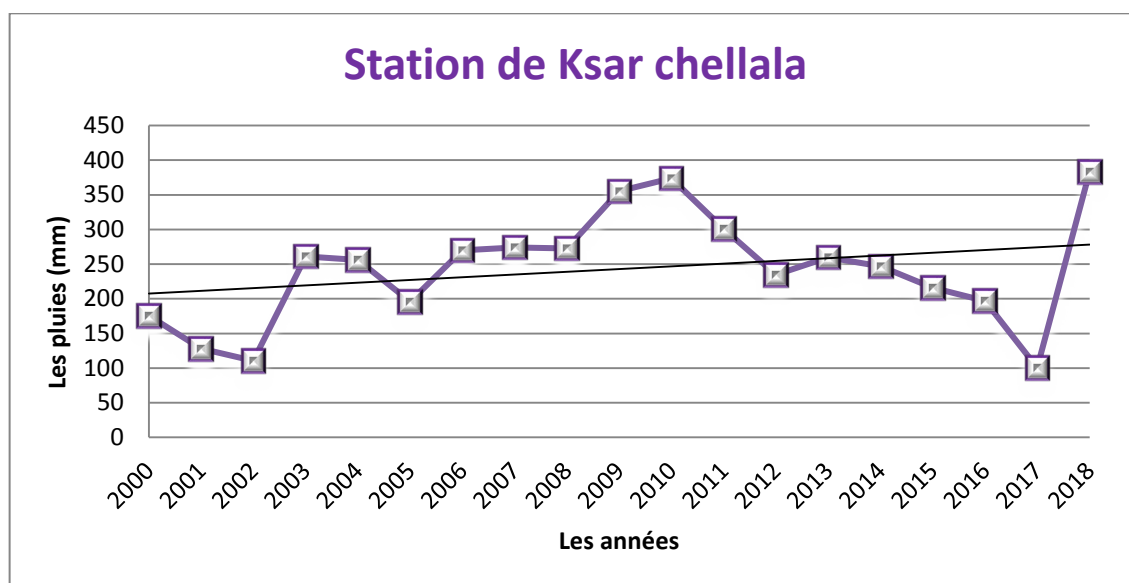


Figure III. 17 : Tracé curviligne des moyennes annuelles pluviométriques pour la station de Ksar el chellala



III.6. Analyses par le tracé des écarts par rapport à la moyenne annuelle

Les tracés des écarts par rapport à la moyenne annuelle permettent de situer les périodes sèches d'une série d'observation. La moyenne permettant de partager ses années d'une série est obtenue en faisant la moyenne des pluviométries moyennes annuelles de la série d'observation.

Le calcul des écarts par rapport à la moyenne annuelle est la méthode la plus utilisée pour déterminer la période sèche et humide d'une série d'observation. Une période sèche est

l'intervalle d'années dont la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à la moyenne de la série. Quand à la période humide, elle a une pluviométrie moyenne annuelle supérieure à la moyenne de la série.

a. Station de Msila (tableau 25 et figure 18)

La station de **Msila** se distingue par une série des données allant de **2000 à 2018** soit une série de **19** ans dont la moyenne annuelle de la série est de **168.16 mm**.

En premier lieu nous distinguons clairement les trois pics pluviométriques les plus élevées successivement aux années **2001, 2003** et **2014** avec **245,5, 274** et **292,7 mm**.

En second lieu l'observation de l'histogramme révèle une alternance entre la période humide et la période sèche. Les périodes sont :

- Une période humide de 5 ans (2000-2004).
- Une période sèche de 5 ans (2005-2009).
- Une période humide de 5 ans (2010-2014).
- Une période sèche de 4 ans (2015-2018).

On peut grouper ces périodes en deux classes en fonction de la moyenne de chaque période :

Une première classe est constituée **des années excédentaires** (10ans), qui regroupe deux périodes humides de 5ans (de 2000-2004, et de 2010-2014) dont la moyenne annuelle la plus élevée a été enregistrée en **2014** avec **292,7 mm**.

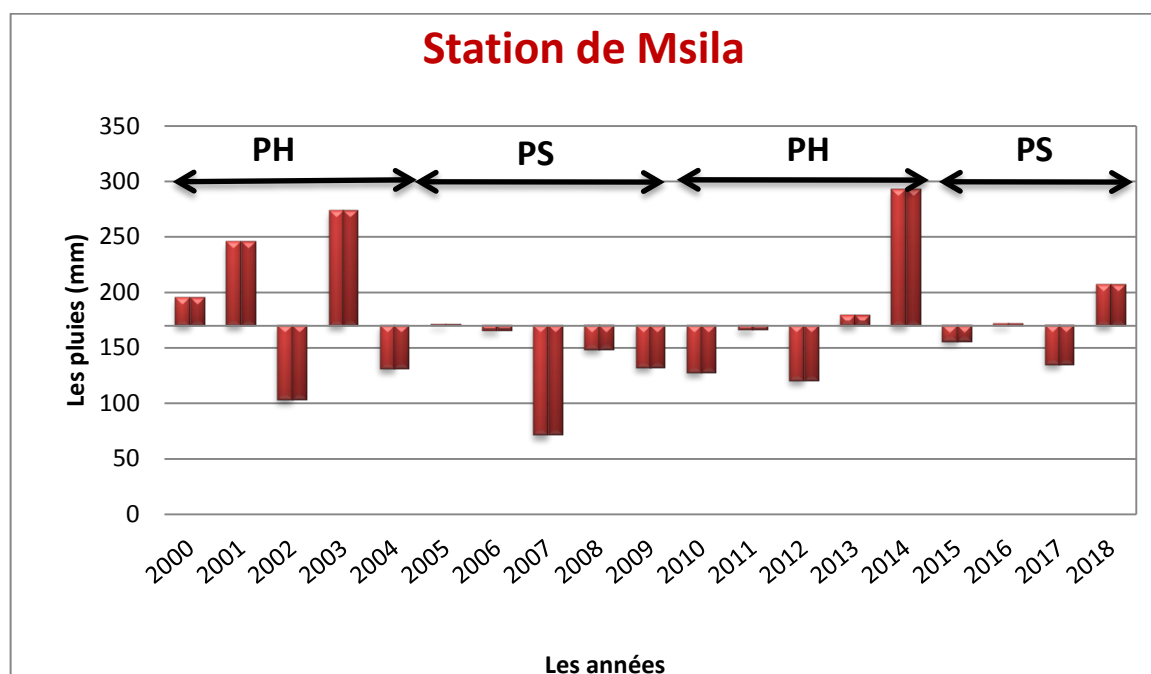
Une deuxième classe regroupe **les années déficitaires** (9 ans), qui regroupe deux périodes sèches (de 2005-2009, et de 2015-2018) dont la moyenne annuelle la plus faible a été enregistrée en **2007** avec **71,4 mm**.

La moyenne annuelle la plus élevée de la série est de 292,7 mm et la plus faible égale à 71,4mm. se sont des valeurs plus faibles par rapport aux autres stations, ce qui montre que la région de Msila est une région sèche.

Tableau III. 25 : Analyse des tracés des écarts à la moyenne de la station de Msila

Période (ans)	Nombre années	Moyenne (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Ecart type	Cv
Période humide						
2000/2004	5	189,78	103,2	274	72,79	0,38
2010 /2014	5	177,3	120	292,7	69,15	0,39
Période sèche						
2005/2009	5	137,9	71,4	171,4	40,20	0,29
2015/2018	4	167,5	135	207	30,39	0,18

Figure III. 18 : Tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Msila



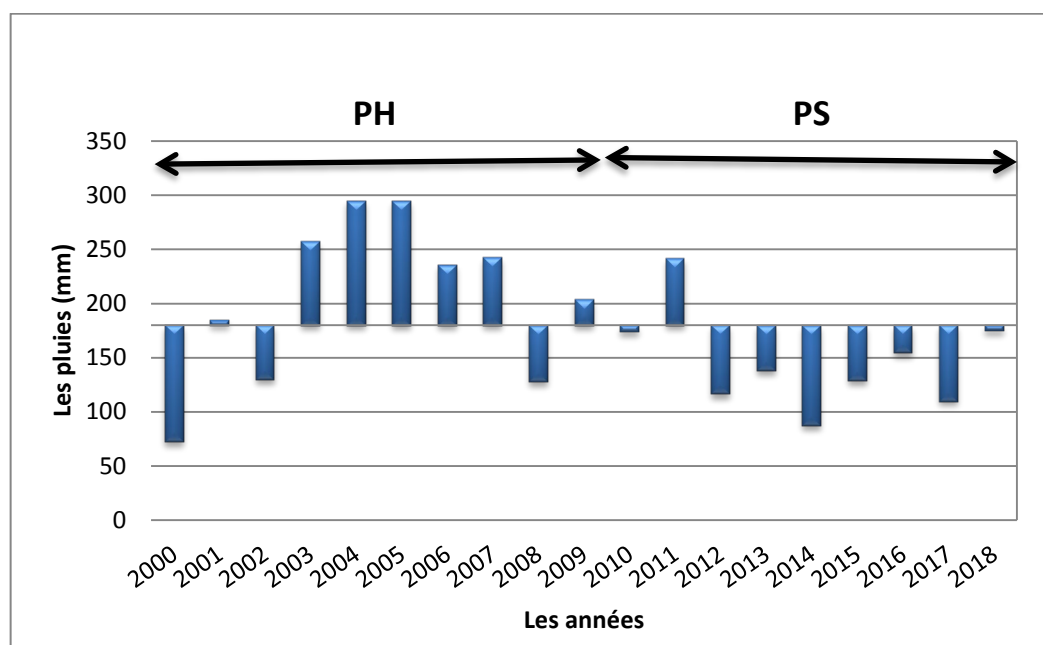
b. Station de Boussaâda (tableau 26 et figure 19)

La station de **Boussaâda** est composée de deux périodes : l'une, période humide de 10 ans successifs (2000-2009) et l'autre période sèche de 09 ans aussi successifs (2010-2018), la moyenne annuelle de cette série est de **177,3 mm**.

Tableau III. 26 : Analyse des tracés des écarts à la moyenne station de Boussaâda

Période (ans)	N.années	Moyenne (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Ecart type	Cv
Période humide						
2000/2004	5	187,96	72,7	294,9	90,69	0,48
2005 /2009	5	221	128	295	61,48	0,28
Période sèche						
2010/2014	5	151,28	87,1	241,3	59,44	0,39
2015/2018	4	141,88	110	174,8	26,66	0,19

Figure III. 19 : Tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Boussaâda



c. Station de Djelfa (tableau 27 et figure 20)

La station de Djelfa est composée de deux périodes :

Période humide de 10 ans (de 2000-2004, et de 2010-2014) et période sèche de 9 ans (de 2005-2009, et de 2015-2018). La moyenne annuelle de la série est de **284,92 mm**.

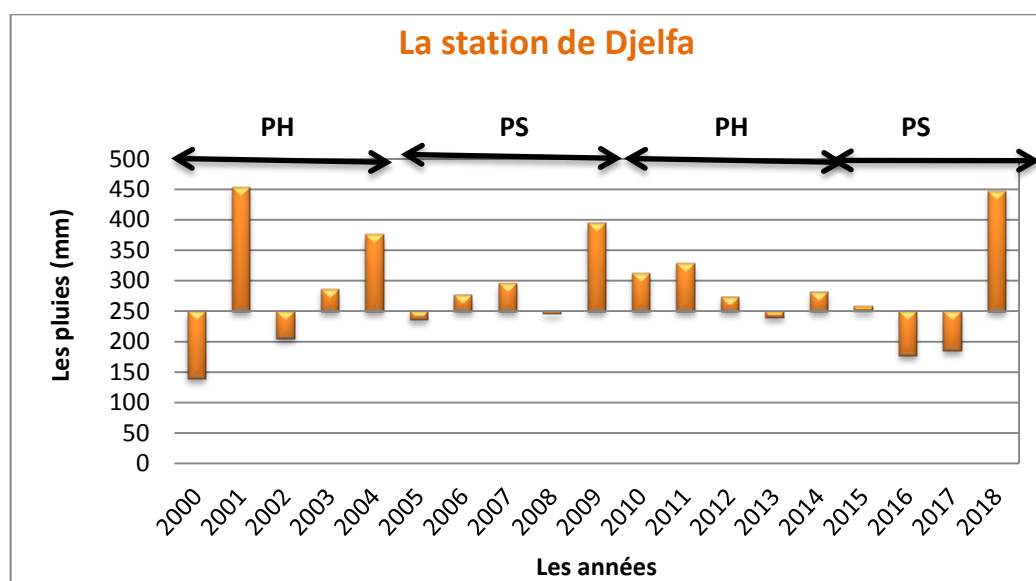
Après l'analyse de la figure 20 on a bien remarqué qu'il y a 3 années successives de la sécheresse avant une année humide avec **447,3 mm**.

Le tracé des écarts par rapport à la moyenne nous a permis de constater qu'au niveau des deux stations (**Msila** et **Djelfa**) il ya une alternance entre les périodes sèches et humide par contre les deux autres stations, alors on constate qu'il ya une augmentation de la pluviométrie de l'Est à l'Ouest.

Tableau III. 27 : Analyse des tracés des écarts à la moyenne pour la station de Djelfa

Période (ans)	N. Années	Moyenne (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Ecart type	Cv
Période humide						
2000/2004	5	292,08	139,5	452,7	126,26	0,43
2010/2014	5	287,34	239,6	328,9	34,99	0,12
Période sèche						
2005/2009	5	247,72	236	394,7	63,46	0,26
2015/2018	4	266,93	177,2	447,3	125,55	0,47

Figure III. 20 : Tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Djelfa



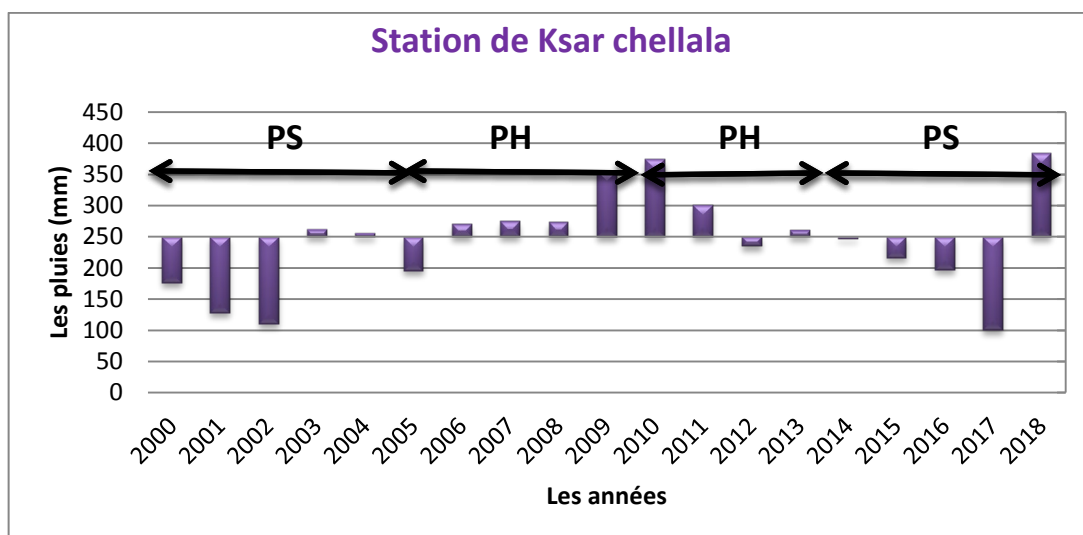
d. Station de Ksar el chellala (tableau 28 et figure 21)

Dans cette station, la moyenne annuelle de la série est de **242,82 mm**, avec deux périodes : périodes humides 09 années successives (2005-2014), et une période sèche de 10 ans (2000-2004 et de 2015-2018).

Tableau III. 28 : Analyse des tracés des écarts à la moyenne pour la Station de Ksar el chellala

Période (an)	Nombre d'année	Moyenne (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)	Ecart type	Cv
Période humide						
2005/2009	5	273,62	196	355,2	56,33	0,21
2010 /2014	4	292,43	234,8	374	60.85	0,21
Période sèche						
2000/2004	5	186,36	110,8	261	70,06	0,38
2015/2018	5	228,80	100.6	383,2	102,19	0.45

Figure III. 21 : Tracé des écarts des pluviométries moyennes annuelles pour la station de Ksar el chellala



III.7. Délimitation des mois secs et des mois humides

Pour la délimitation des mois secs et des mois humides nous avons adopté le seuil de **15 mm**. Un mois sec est un mois dont la pluviométrie moyenne mensuelle inférieure à **15 mm** contrairement au mois humide qui est supérieur à **15 mm**.

Pour l'établissement des tableaux 29 et 30, nous avons procédé comme suit :

Pour chaque station on a calculé la moyenne de chaque mois pendant une période de 19 ans ce qui est résulte pour 19 mois une seule moyenne. Prenons le mois de septembre (station de Msila) : une période de 19 ans soit 19 mois de septembre, ensuite on a déterminé les mois secs et les mois humide en fonction du seuil. Les résultats de nos calculs qui sont illustrés par les tableaux N°29 et 30, et la figure N°22 montrent que :

Pour la station de Msila :

Le mois de Janvier est le plus pluvieux (humide) par rapport aux autres mois avec une moyenne pluviométrique de **26.7 mm**, tant que le mois le plus sec c'est le mois de Juillet avec **2.3 mm** où cette valeur est la plus faible dans toutes les stations.

Cette station est la plus sèche par rapport aux autres stations.

Pour la station de Boussaâda :

Le mois le plus humide est le mois d'Avril avec une moyenne pluviométrique de **30 mm**, et le mois le plus sec c'est le mois de Juillet avec **5.7 mm**.

Pour la station de Djelfa :

Le mois le plus humide pour cette station est le mois de Septembre avec **38.1 mm** qui représente la valeur la plus élevée par rapport aux autres stations, et le mois le plus sec c'est le mois de Juillet avec une moyenne pluviométrique de **9 mm**.

Cette station est la plus humide par rapport aux autres stations.

Pour la station de Ksar chellala :

Le mois le plus humide c'est le mois de Septembre avec **32.9 mm**, tant que le mois le plus sec c'est le mois de Juillet avec **5.6 mm**.

Nous pouvons dire que la période la plus sèche pour toutes les stations c'est les mois : **Juin**, **Juillet**, et **Août**. Avec **Juillet**, le mois sec commun entre toutes les stations.

Pour ce qui concerne les mois les plus humides, on constate, **Septembre**, **Octobre**, et **Avril**, avec **Septembre** et **Octobre**, la période la plus humide commune entre toutes les stations.

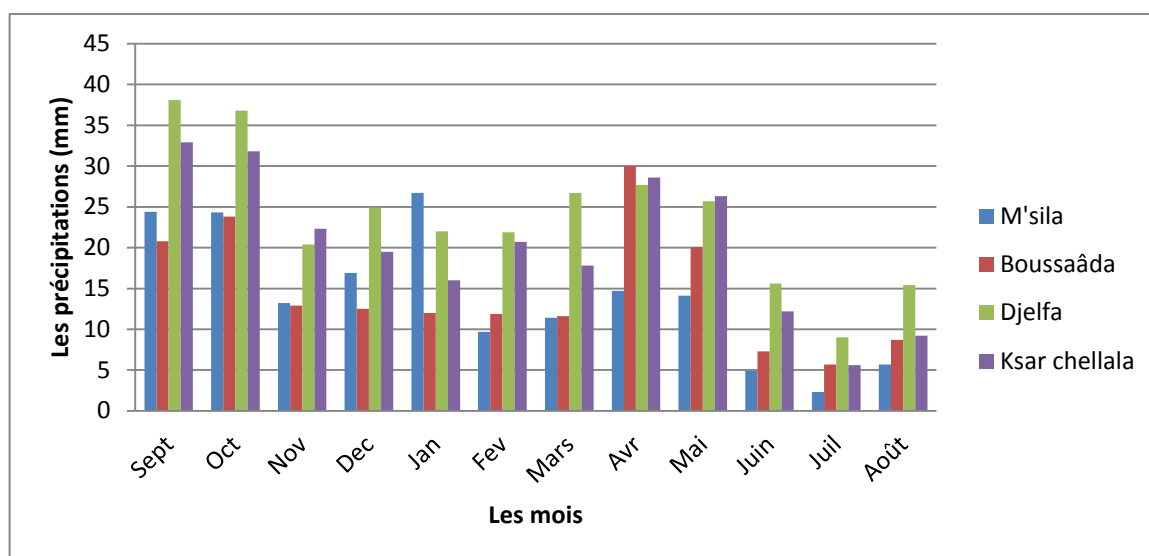
Tableau III.29 : Délimitation des mois secs et humides des différentes stations

Mois	Msila		Boussaâda		Djelfa		Ksar chellala	
	L'état de période	Valeur	L'état de période	Valeur	L'état de période	Valeur	L'état de période	Valeur
Septembre	Humide	24,4	Humide	20,8	Humide	38,1	Humide	32,9
Octobre	Humide	24,3	Humide	23,8	Humide	36,8	Humide	31,8
Novembre	Sèche	13,2	Sèche	12,9	Humide	20,4	Humide	22,3
Decembre	Humide	16,9	Sèche	12,5	Humide	24,9	Humide	19,5
Janvier	Humide	26,7	Sèche	12	Humide	22,6	Humide	16
Février	Sèche	9,7	Sèche	11,9	Humide	21,9	Humide	20,7
Mars	Sèche	11,4	Sèche	11,6	Humide	26,7	Humide	17,8
Avril	Sèche	14,7	Humide	30	Humide	27,7	Humide	28,6
Mai	Sèche	14,1	Humide	20,1	Humide	25,7	Humide	26,3
Juin	Sèche	4,9	Sèche	7,3	Humide	15,6	Sèche	12,2
Juillet	Sèche	2,3	Sèche	5,7	Sèche	9	Sèche	5,6
Août	Sèche	5,7	Sèche	8,7	Humide	15,4	Sèche	9,2

Tableau III.30 : Présentation des précipitations moyennes mensuelles :

Station	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
M'sila	24,4	24,3	13,2	16,9	26,7	9,7	11,4	14,7	14,1	4,9	2,3	5,7
Boussaâda	20,8	23,8	12,9	12,5	12	11,9	11,6	30	20,1	7,3	5,7	8,7
Djelfa	38,1	36,8	20,4	24,9	22	21,9	26,7	27,7	25,7	15,6	9	15,4
Ksar chellala	32,9	31,8	22,3	19,5	16	20,7	17,8	28,6	26,3	12,2	5,6	9,2

Figure III. 22 : Variation moyennes mensuelles des précipitations (4 stations).



Pour en savoir plus, nous allons faire une analyse des moyennes mensuelles du point de vue saisonnier et en dégager les conclusions.

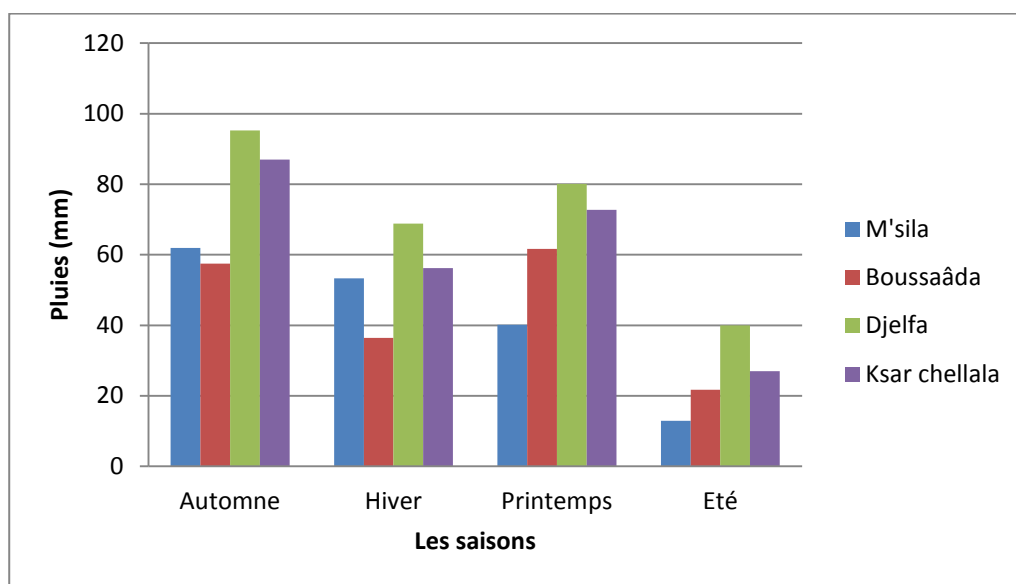
- Les précipitations saisonnières : les quatre saisons de l'année correspondent à :
 - L'hiver (décembre, Janvier, Février)
 - Le Printemps (mars, Avril, Mai)
 - L'été (Juin, Juillet, Aout)
 - L'automne (Septembre, Octobre, Novembre)

Le tableau et les figures ci-dessus présentent les précipitations moyennes saisonnières.

Tableau III. 31 : Présentation des précipitations moyennes saisonnière

	Automne	Hiver	Printemps	Eté
Msila	61,9	53,3	40,2	12,9
Boussaâda	57,5	36,4	61,7	21,7
Djelfa	95,3	68,8	80,1	40
Ksar chellala	87	56,2	72,7	27

Figure III. 23 : Précipitations moyennes saisonnière des quatre stations



Après l'analyse du tableau 31 et la figure 23, on remarque que l'Automne est la saison la plus humide pour les stations de **Msila**, **Djelfa**, et **Ksar chellala** mais pour la station de Boussaâda le Printemps est le plus pluvieux parmi les autres saisons.

D'un point de vue pluviométrie saisonnière, on constate que les périodes estivales sont bien présentes aux contraires les périodes hivernales qui ne sont pas dominantes suffisamment dans le cas où l'automne et le printemps qui sont les plus humides pour toutes les stations. Donc on constate une irrégularité des saisons.

III.8. Conclusion

D'après l'analyse des études qui sont fait auparavant, la pluviométrie est parait favorable dans les zones situés à l'Est, et elle a connu une évolution en dirigeant vers le Ouest.

Il existe des périodes humides (la pluviométrie élevée) différentes de station à l'autre, en revanche il existe une période sèche (de faible pluviométrie) commune entre les stations de Boussaâda et Djelfa.#

Le calcul des écarts par rapport à la moyenne nous a permis de constater que plus on va vers l'Ouest, plus les années humide se succèdent comme c'est le cas de Djelfa avec peu de période sèche par rapport à Msila.

Cette succession des années sèches, implique t-elle une aggravation de la sévérité de la sécheresse avec le temps ? Pour répondre à cette question, nous allons essayer d'effectuer, dans le chapitre suivant, une série de calcul avec des indices de sécheresse afin de déterminer le degré de sévérité de ses deux périodes : sèche et humide.

On sait que les années de sécheresse peuvent se succéder pendant 4 ans, Es- qu'une longue succession des années sèches signifie que le degré de sévérité de la sécheresse est élevé pendant ses périodes ?

IV. Caractérisation de la sécheresse météorologique

La sécheresse météorologique est due à la réduction naturelle de la pluviométrie sur une région donnée pendant une année ou sur plusieurs années successives. Souvent, elle est définie par l'écart entre la pluie annuelle et la pluie moyenne annuelle.

Nous proposons de faire l'étude des données pluviométriques observées au niveau de notre région d'étude afin de dégager les caractéristiques de la sécheresse existante.

Afin de caractériser la sécheresse de notre région d'étude nous utiliserons les indices de sécheresse et les indices de sévérité.

IV.1. Indices de sécheresses

Pour caractériser et identifier la sécheresse, plusieurs indices sont utilisés.

IV.1.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em)

Cet indice est utilisé pour estimer le déficit pluviométrique à l'échelle de l'année, il permet aussi de visualiser le nombre d'années déficitaires et leur succession.

$$E_m = P_i - P_m$$

Avec : **P_i** : pluie annuelle.

P_m : pluie moyenne annuelle.

L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (**P_i**) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (**P_m**), cet indice permet de faire une classification globale, si l'écart est positif cela indique les années humides et négatif indique les années sèches, on parle d'années déficitaire quand la pluie est inférieur à la moyenne est d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée.

IV.1.2. Indice de pluviosité (Ip)

$$I_p = P_i / P_m$$

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation. Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1.

IV.1.3. Distribution selon les fréquences

Les pluies annuelles sont classées dans l'ordre croissant suivant leur probabilité au non dépassement puis divisées en cinq classes.

Si l'écart à la moyenne (E_m) et l'indice de pluviosité (I_p) nous indiquent simplement les années sèches et les années humides ainsi que les tendances générales, l'analyse fréquentielle nous permet en revanche de distinguer parmi les années sèches celles qui sont les plus déficitaires.

Tableau IV. 32 : Distribution selon les fréquences

Classes	Fréquence ou probabilité au non dépassement
Très sèche	$F < 0,15$
Sèche	$0,15 < F < 0,35$
Normale	$0,35 < F < 0,65$
Humide	$0,65 < F < 0,85$
Très humide	$F > 0,85$

IV.2. Indices de sévérité

En plus de l'identification des fréquences sèches et de leur caractérisation par le calcul de ces indices, il est possible de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité.

IV.2.1. Indice du nombre d'écart type

Cet indice peut être calculé par la comparaison de la pluie moyenne annuelle (P_m) au nombre d'écart types (\tilde{A}).

Lorsque P_i est inférieur à $P_m - \tilde{A}$, on parle d'une sécheresse forte. Il s'agit d'une sécheresse très sévère si P_i est inférieur à $P_m - 2\tilde{A}$.

Tableau IV. 33 : Les différentes classes de l'indice du nombre d'écart type

Type de sécheresse	Critère de comparaison
Modéré	$P_m - \tilde{A} < P_i < P_m$
Forte	$P_m - 2\tilde{A} < P_i < P_m - \tilde{A}$
Très sévère	$P_i < P_m - 2\tilde{A}$

IV.2.2. Indice standardisé de précipitation

L'indice standardisé de précipitation « SPI » (standardisé précipitation index) a été développé en 1993 en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Il reflète l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. La principale contribution de cet indice est l'établissement très précis de la durée de la sécheresse.

Cet indice est calculé surtout lorsque la précipitation n'est pas normalement distribuée. Il est exprimé mathématiquement comme suit :

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

On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs des SPI cités dans le tableau.

Tableau IV. 34 : classe de distribution des années selon SPI

SPI	Classification
$SPI > 2$	Humidité extrême
$1 < SPI < 2$	Humidité forte
$0 < SPI < 1$	Humidité modérée
$-1 < SPI < 0$	Sécheresse modérée
$-2 < SPI < -1$	Sécheresse forte
$SPI < -2$	Sécheresse extrême

IV.3. Analyse du calcul des indices

En analysant le tableau 34 du calcul des indices on remarque :

A) Pour les indices de sécheresse

Pour le calcul des indices de l'écart à la moyenne et de pluviosité, sur les données pluviométriques observées au niveau des quatre stations, ces indices nous ont permis de constater **42 %** d'années humides et **58 %** d'années sèches au niveau des stations : **Msila**, **Boussaâda**, et **Djelfa**.

Et **58 %** d'années humides et **42%** d'années sèches pour la station de **Ksar chellala**.

Quand à l'analyse fréquentielle on remarque que pour toutes les stations sur **19 ans**, **2** années sont considérées comme **très sèches**, **4** années **sèches**, **6** comme années **normales**, **4 humides** et **3 très humides** donc le pourcentage des années **déficitaires** sera **31 %**.

B) Pour les indices de sévérité

On a deux types de périodes : sèche et humide, chaque période est divisée en plusieurs classes en fonction de la sévérité de la sécheresse. Le classement des années selon les trois indices de la sévérité est similaire, l'indice le plus détaillé est l'indice standardisé de précipitation (SPI). Nous utiliserons les résultats de cet indice pour effectuer une interprétation des résultats.

L'indice standardisé de précipitation

- La station de Msila : sur les **19 ans**, on a **8 ans humides** soit **1 an d'humidité extrême**, **2 ans d'humidité forte** et **5 ans d'humidité modérée**. Pour les **11 ans** restant, on a **9 ans de sécheresse modérées** et **2 années de sécheresse forte**.
- La station de Boussaâda : sur les **19 ans**, on a **8 ans humides** soit **3 année d'humidité forte** et **5 ans d'humidité modérée**. Pour les années sèches on a **9 ans de la sécheresse modérée** et **2 ans de la sécheresse forte**.
- La station de Djelfa : pour **19 ans**, on a **8 ans d'humidité** soit **4 ans d'humidité forte** et **4 ans d'humidité modérée**. Pour **11 ans** de sécheresse on observe **8 années de sécheresse modérée** et **3 ans de la sécheresse forte**.
- La station de Ksar chellala : pour **19 ans**, on constate **11 ans secs** soit **3 ans d'humidité forte** et **8 ans d'humidité modérée**, ce qui concerne les **8 années de sécheresse** soit **5 ans de la sécheresse modérées** et **3 ans de la sécheresse forte**.

Comme conclusion nous pourrions dire que le degré de **sévérité** n'est pas trop élevé dans nos stations d'étude. En comparant les différentes classes de l'indice (SPI) entre eux (humidité moyenne et sécheresse moyenne ; humidité forte et sécheresse forte ; humidité extrême et sécheresse extrême), on constate qu'il y a une **dominance** des classes de **la période sèche**.

Tableau IV. 35 : Calcul des indices de sécheresse

		Msila		Boussaâda		Djelfa		Ksar chellala	
Indice	classe	Nombre	%	nombre	%	Nombre	%	nombre	%
Em	H	8	42%	8	42%	8	42%	11	58%
	S	11	58%	11	58%	11	58%	8	42%
Ip	H	8	42%	8	42%	8	42%	11	58%
	S	11	58%	11	58%	11	58%	8	42%
AF	TS	2	10%	2	10%	2	10%	2	10%
	S	4	21%	4	21%	4	21%	4	21%
	N	6	32%	6	32%	6	32%	6	32%
	H	4	21%	4	21%	4	21%	4	21%
	TH	3	16%	3	16%	3	16%	3	16%
SPI	HE	1	5%	-	-	-	-	-	-
	HF	2	11%	3	16%	4	21%	3	16%
	HM	5	26%	5	26%	4	21%	8	42%
	SM	9	47%	9	47%	8	42%	5	26%
	SF	2	11%	2	11%	3	16%	3	16%
	SE	-	-	-	-	-	-	-	-

Conclusion générale

Durant notre étude de cette région nous avons notés plusieurs remarques concernant la pluviométrie et les changements climatiques :

- Dans cette région la pluviométrie est irrégulière caractérisée par des années successives de sécheresse aussi une succession des années humides.
- Plus qu'on va vers le centre (de l'Est à l'Ouest), la pluviométrie augmente : Une pluviométrie de **168.16 mm** pour la station de **Msila**, elle évolue vers **Boussaâda** à **177.3 mm**, **Djelfa** avec **284.92 mm**, puis elle diminue légèrement vers **Ksar chellala** à **242.82 m**
- L'irrégularité des saisons nous a démontré que le climat n'est pas stable et qu'il pourra continuer à évoluer dans le temps et dans l'espace.

Le changement climatique est donc, un problème préoccupant qu'on doit faire face, surtout que ses conséquences affectent l'environnement, et par conséquent les êtres vivants (écosystèmes...).

Afin d'éradiquer ce phénomène pour assurer un futur pour notre planète, quels sont les solutions possibles pour limiter ce phénomène ?

Dans cette perspective, j'ai essayé de citer quelques solutions :

- ❖ Limiter les émissions en gaz à effet de serre (on peut s'assurer que des polluants d'air émis pendant les procédés industriels soient attrapés et traités au lieu d'être libérés dans l'air. L'air déjà traité peut être retraité, par exemple par des systèmes de lavage d'air.....)
- ❖ Les catalyseurs peuvent être ajoutés aux échappements des voitures, pour diminuer la concentration en gaz combustible ; au lieu d'utiliser des véhicules à diesel ou essence, nous pouvons utiliser un type différent d'essence.
- ❖ L'implantation de la haie vive, formelle (taillée) ou sauvage, est nécessaire pour reconquérir le territoire steppique par la verdure, le quadriller afin de conserver les sols et l'eau, et d'améliorer le microclimat, et faire reculer le désert.
- ❖ En raison de variabilité pluviométrique (diminution ou sècheresse), on doit assurer des approvisionnements en eau (ressources en eaux : réalisation des barrages, traiter les eaux usées...etc.) afin d'irriguer les cultures et la réussite de notre projet d'implantation.

Liste bibliographique

ABIDAT.A (1999) : Contribution à l'étude hydro-climatique du massif du Dahra (Bassins versant d'Oued Kramis et Oued Tarhia).

ANRH : les données pluviométriques de 19 ans (2000-2018).

BERAN MA, RODIER JA : Aspects hydrologiques des sécheresses. Contribution au programme hydrologique international.

Rapport préparé par un comité mixte UNESCO/OMM, (1987) 172p

BOUZIANI. N (2009) : Etude hydro climatique des bassins versants de l'Oued Hounet et l'Oued Melrir (w.Mascara). Mémoire d'ingénieur. Centre Universitaire de Mostaganem.

BRAHMI. D (2014) : Analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie. Mémoire du master. Université de Tlemcen.

BENYETTOU. MA et BOUKLIKHA. A (2017) : Variations et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie. Mémoire du master. Université de Tlemcen.

DAGNÉLIE P. (1970) - *Théorie et méthodes statistiques*. Édit. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique, vol. 2, 451 p.

DAKICHE. A : Un pas de plus dans la lutte contre la désertification. Université d'Oran.

DIARRA. D (2006) : Contribution à l'étude hydro climatique d'un transect Nord-Sud Khadra-Ammi Moussa Algérie. *Mémoire d'ingénieur. Centre Universitaire de Mostaganem.*

FAHIM. F (2010) : Contribution à l'étude hydrogéologique de la région Naama. *Mémoire d'ingénieur. Centre Universitaire de Mostaganem.*

FARAH. AK (2014) : Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien. Mémoire du magistère. Université de Constantine.

HABBOUCHI. R (2018) : Etude et analyse des précipitations annuelles et mensuelles dans la région d'Oran. Mémoire du master. Université de Mostaganem.

HADBAOUI. I (2013) : Les parcours steppiques dans la région de M'Sila : quelle gestion pour quel devenir? .Mémoire de magistère. Université de « Ouargla ».

KHALDI A. (2005) - Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen - Saida". *Thèse de Doctorat d'État, Université d'Oran, Algérie. 229 p.*

LABORDE J.P. (1993) - *Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord à l'échelle de 1/500000.* Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, projet PNUD/ALG/88/021, une carte avec notice explicative.

LUBES H., MASSON J.M., SERVAT É., PATUREL J.E., KOUAME B. et BOYER J.F. (1994) - Caractérisation des fluctuations dans une série chronologique par application de tests statistiques. Étude bibliographique. *Programme ICCARE, Rapport n° 3, ORSTOM, Montpellier.*

LUBES-NIEL H., MASSON J.M., PATUREL J.E. et SERVAT É. (1998) - Variabilité climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité des chroniques. *Revue des Sciences de l'eau*, vol. 11, n° 3, p. 383-408.

MCKEE TB, DOESKEN NJ, KLEIST J : The relationship of drought frequency and duration time scales. Preprints, 8th Conference on Applied climatology, 17-22 Janury, Anaheim, CA, (1993) 179-84.

MEDDI H. et MEDDI M. (2009) - Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, vol. 20, n° 1, p. 57-65.

MEDJAHED. L (1995) : Etude hydro climatique d'un bassin au Nord du Chott El Gharbi (Abdel Moula et Msekhsa). *Mémoire d'ingénieur. Centre Universitaire de Mostaganem.*

MOHAMED. B, Aws ALOUINI, IRESA (2001) : Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : Cas du bassin versant de Siliana en Tunisie.

Site web:

https://www.google.dz/search?q=barrage+vert&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiQ0fDg2aDjAhW0A2MBHbpPCIQQ_AUIECgB&biw=1366&bih=657#imgdii=KA2UROOx0suMMM:&imgcr=XBaxa9myVpVjWM:

Site web :

https://www.google.dz/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwj16Kuc86DjAhUtAmMBHSUFAHEQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.bioenergie-promotion.fr%2F39498%2Flalgerie-relance-son-chantier-de-barrage-vert-avec-3-millions-ha-a-planter%2F&psig=AOvVaw20-V49hCcsSj9yaymf4ra_&ust=1562522917759828

Site web: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ksob.jpg>

(Own work (2010) Barrage du Ksob dans la Wilaya de M'Sila).

Site web: <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Djelfa.pdf>

Site web :

https://www.google.dz/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwic3dCulaHjAhXw2eAKHSWeDFcQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.vitamedz.com%2Fbarrage-de-djelfa%2FPhotos_139_42603_0_1.html&psig=AOvVaw1Hmlgj7fyGLW3zq-LcO06p&ust=1562532515545248

Site web: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microclimat>

Talia A, Meddi M, Bekkoussa BS, (2011): Etude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux et le Sahara algériens. Sècheresse 22 : 149-58. doi : 10.1684/sec.2011.0314

YOURID. K (2017) : Analyse et contribution à l'étude pluviométrique dans la région côtière de l'Ouest d'Algérie. Mémoire du master. Université de Mostaganem.