



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

Université D'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des sciences de la terre et de l'Univers

Département de Géographie et d'Aménagement du Territoire



***Mémoire de Fin D'étude  
Pour l'obtention du diplôme de Master2  
En Hydrologie et Aménagement du Territoire  
Option Changement Climatique et Adaptation, Climadapt***

**Thème :**

***Etude de la Variation des Précipitations  
en Algérie***

***Encadré par :***  
***Mr BELLAL Sid Ahmed.***

***Réalisé par :***  
***Mme KHITER Houaria.***

***Devant le jury:***

<b><i>Nom et Prénom</i></b>	<b><i>grade</i></b>	<b><i>Université</i></b>	<b><i>Statut</i></b>
<b><i>Mr BELLAL Sid Ahmed.</i></b>	Professeur	Univercité Oran2	Encadreur
<b><i>Mr HADEID Mohamed</i></b>	Professeur	Univercité Oran2	Président
<b><i>Mr BELMAHI Mohamed Nadir</i></b>	MCA	Univercité Oran2	Examineur

***Promotion 2019***

# ***Introduction générale***

---

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 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 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.

En Afrique du nord, le Maghreb est soumis au climat type Méditerranéen ou dominant les étages semi-aride, aride et hyperaride. Les données climatique relevées durant le 20ème siècle indique un réchauffement durant ce siècle estimé à un 1°C avec une tendance accentuée pour les 30 dernière années et une baisse de la pluviométrie depuis la moitié des années 1970 (**Djellui Y 2007**).

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.

Selon **Demmak et al. (2001)**, l'Algérie a connu au cours des 25 dernières années (1975-1998), une sécheresse intense et persistante. Le déficit pluviométrique déterminé pour 16 postes représentatifs des régions Ouest, Centre et Est met en évidence un déficit de 26% à l'Ouest, 16% au centre et 11% à l'Est. Il apparait donc que la sécheresse a touché l'ensemble du territoire.

S'agit-il d'un phénomène naturel lié à des fluctuations cycliques ou à un changement Climatique irréversible ?

Depuis, plusieurs études ont été entamées à cet égard. L'analyse des précipitations et des températures sur de longues séries est devenue la préoccupation de plusieurs institutions et chercheurs scientifiques. L'Algérie a été sujet de travaux très intéressants essentiellement sur la variabilité interannuelle des précipitations ainsi que sa relation avec la circulation atmosphérique générale.

En Algérie, les travaux réalisés s'intéressent le plus souvent au suivi des précipitations annuelles surtout dans la partie Nord de l'Algérie.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour caractériser le régime climatique. L'analyse en Composantes principales est une des méthodes classiques et souvent efficace dans l'analyse spatiale et temporelle des précipitations en Algérie. Des tests statistiques sont aussi utilisés pour démontrer la stationnarité d'une série de données chronologiques (pluie). Par exemple, le test de Pettit qui a été très utilisé dans l'analyse des séries pluviométriques, dans plusieurs pays du monde et qui a bien prouvé son efficacité.

Les travaux effectués au cours de ces dernières années montrent un grand intérêt à un nouvel indice appelé « l'indice pluviométrique standardisé ». Cet indice permet de caractériser le degré de sévérité des périodes sèches et humides d'une région donnée, à plusieurs échelles de temps.

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 de l'Algérie est marqué par une irrégularité des précipitations aussi bien au pas de temps saisonnier qu'annuel. 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 (**Medjerab 2011**).

Cette irrégularité des précipitations est due généralement par la Position géographique de l'Algérie ainsi que les différentes unités topographiques ou du à la circulation atmosphérique générale ou finalement c'est une conséquence du changement climatique ?

Suite aux différents travaux consacrés à l'étude du régime climatique en Algérie. Notre travail de recherche vient compléter les résultats et conclusions déjà aboutis précédemment. Une question pertinente sera traitée au cours de ce travail ;

Quelle est l'évolution des précipitations en Algérie au cours de la période 1985-2018 ?

La présente étude ayant pour thème « **l'Etude de la Variation des Précipitations en Algérie** » s'inscrit dans ce contexte.

L'objectif principal tracé est l'étude de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations mensuelles issues de données relevées au niveau de 37 postes pluviométriques repartis sur la zone d'étude.

# ***Méthodes d'approche Générale du mémoire***

---

Le prolongement des périodes sèches en Algérie est devenu une réalité climatique durant cette dernière décennie (**Abderrahmani et al, 2006 ; Acot, 2003 ; Brunetti et al, 2001 ; Moisselin et al, 2003**).

Les applications des données de précipitation en climatologie sont nombreuses. Elles dépendent notamment de l'échelle de temps utilisée dans la collecte des données. Si les données annuelles peuvent être utilisées pour apprécier la tendance climatique, leur analyse, à l'échelle de temps inférieure, (décadaire et quotidienne), révèle un nombre insoupçonné d'informations climatologiques directement exploitables: suivi régulier du bilan hydrique ; caractérisation d'un certain nombre d'événements climatiques tels que le début de la saison des pluies, l'occurrence d'épisodes secs, la prévision des rendements, sécheresse ... etc.

A partir des données de précipitations annuelles, on peut établir une statistique permettant de caractériser leur variabilité spatiale et temporelle et par suite les caractères généraux du climat. Dans cette étude nous avons abordés deux aspects principaux, à savoir :

- La variabilité spatiale dans le but d'établir une régionalisation (zonage climatique) et ainsi réaliser des tracés de cartes pluviométriques
- La variabilité inter annuelle et mensuelle en tant que variabilité temporelle, susceptible de déceler la tendance dans le temps.

L'approche adoptée pour atteindre à nos objectifs comporte les opérations suivantes :

1. la collection des données pluviométriques issue de 37 stations météorologique couvrant le territoire nationale pour la période 1985/2018 ensuite l'étude de d'homogénéisation au sein de ces séries pluviométrique mensuelles on faisant appelle aux test d'homogénéisation des données tel que le test statistique de **pttit** .

2. L'objectif d'une régionalisation (ou zonage) climatique est d'obtenir un découpage d'un territoire en zones homogènes, à l'intérieur desquelles le comportement climatique est similaire au(x) paramètre(s) étudié(s). À cet effet, nous pouvons distinguer, dans la zone d'étude, en utilisant l'Analyse en composante principale (**ACP**) sous le package R ; Quatre régions pluviométrique (Nord –Ouest, Nord –Est, les hauts plateaux et le désert) d'où la variation du régime pluviométrique entre c'est régions est très marqué.

3. Aux Variations Spatiales des précipitations S'ajoutent des variations Temporelles des précipitations sur la période 1985/2018 , l'Analyse de ces dernières passent par la détermination d'une série de pluies moyenne spatiale pour cela différentes méthodes ont été mise en œuvre par plusieurs auteurs tel que la détections des Années déficitaires et excédentaire par le calcul des moyenne centrés réduite ainsi que la présentation graphique de la distributions anuelle, mensuelle et saisonnière des pluies .

4. pour la mise en évidence du changement climatique et la détection de la sécheresse on a calculé certains indices. Tel que :

- L'indice **SPI** (indice de précipitation standardisé, (McKee et al., 1993, 1995) ) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. Le programme de calcul de l'indice s'exécute aussi bien dans un environnement Windows que sous UNIX.
- La variabilité et l'agressivité des précipitations au cour de l'année pluviométrique sont appréciées par **PCI** (l'Indice de Concentration des Précipitations) et **IFM** (l'indice de fourrier modifier),

# ***Organisation du travail***

---

Notre travail a consisté à faire une étude spatiale et temporelle des précipitations en Algérie pour la période 1985/2018. Il est organisé de la manière suivante :

Le mémoire ainsi réalisé sera structuré en trois principaux chapitres comme suite :

- Le premier chapitre donne une présentation de la zone d'étude, un aperçu sur sa position géographique,....
- Le deuxième chapitre consacré à une synthèse bibliographique portant sur l'étude de la précipitation dans le cycle global de l'eau, les différents types de précipitations ainsi que leur répartition. De même, la problématique des changements climatiques sera détaillée dans cette partie.
- Le troisième chapitre consiste à définir les outils et la méthodologie utilisée dans la présente étude. Au premier lieu, nous s'intéressons à la problématique liée à la disponibilité et la qualité des données. Ensuite, nous définissons les méthodes statistiques utilisées pour la détection de rupture aux seins des séries pluviométrique. Ensuite faire une application de ces méthodes sur la zone d'étude et interpréter les résultats obtenus.

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

L'analyse des précipitations avec une résolution quotidienne en ALGERIE est un sujet de grand intérêt en raison des problèmes hydrologiques résultant de la forte intensité et la mauvaise répartition temporelle des précipitations. Ces problèmes étant à leur tour produits par la concentration d'un grand pourcentage du total annuel dans quelques jours très pluvieux, séparés par de longues périodes de sécheresse.

Cet intérêt n'est pas seulement climatologique, il affecte également d'autres domaines de L'environnement et la société. Par exemple, le niveau d'agressivité des précipitations sur le sol dans des environnements avec une végétation clairsemée est directement lié à l'intensité et à la répartition temporelle.

### ***II. Présentation générale de l'Algérie :***

L'Algérie est située au centre du continent Nord-africain, avec une superficie de 2.381.741km<sup>2</sup>, elle est le plus grand pays en Afrique. Avec près de 1200 Km de côte sur la mer Méditerranée, elle est bordée à l'Est par la Tunisie, au Sud Est par la Libye, au Sud par le Niger et le Mali, au Sud-Ouest par la Mauritanie et à l'Ouest par le Sahara Occidental et le Maroc (Voir figure 1).

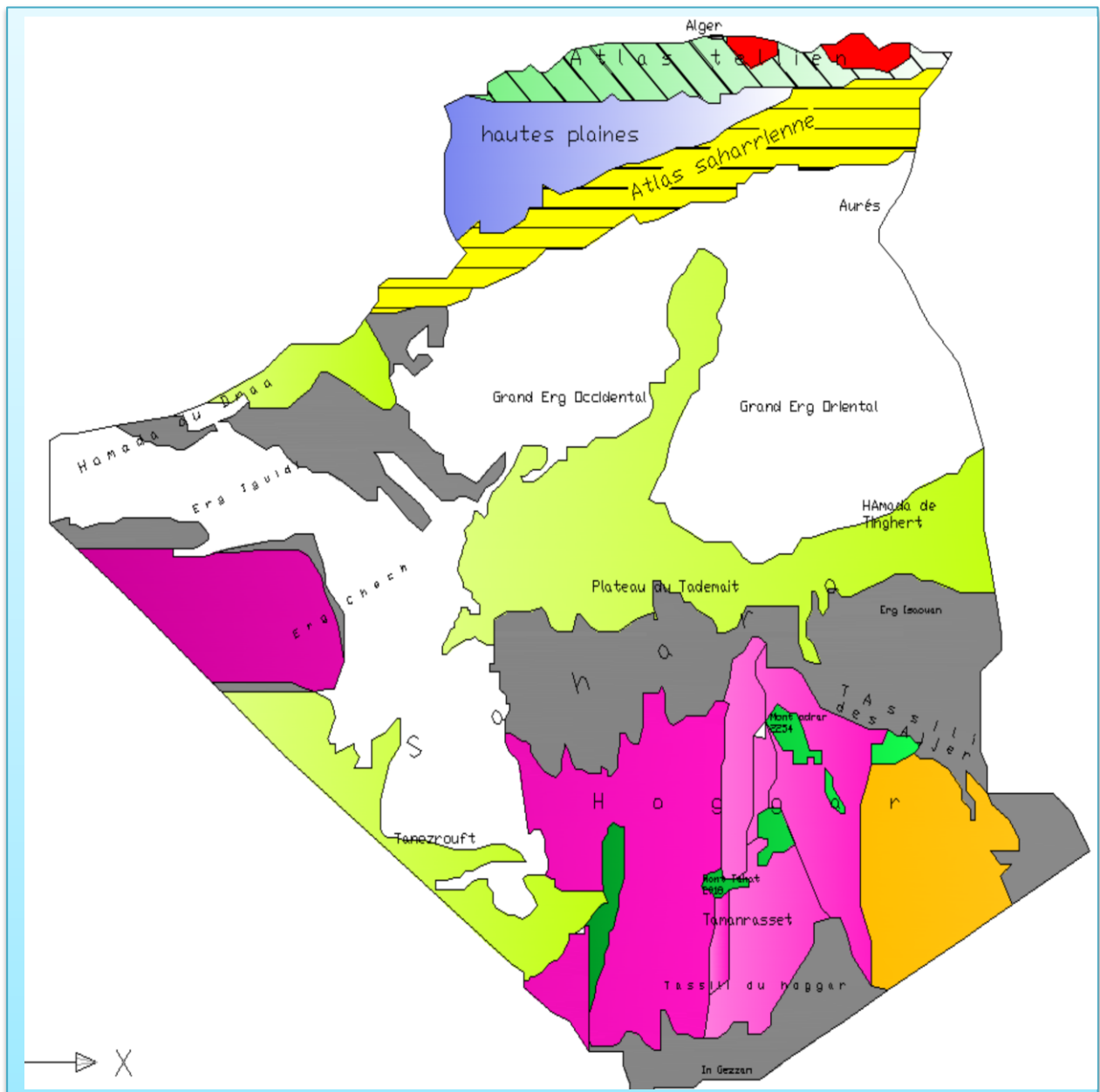
La figure ci-dessous, présente la position géographique de l'Algérie dans l'Afrique du nord.



***Figure 1:*** Situation géographique de l'Algérie (benyetou,2014)

### 1. Principales unités topographiques de l'Algérie :

Le relief algérien se compose de deux principales chaînes montagneuses : l'Atlas tellienne l'Atlas saharienne : ce sont deux ensembles parallèles qui parcourent le pays d'Ouest en Est, elles se rapprochent au centre du pays jusqu'à presque se confondre à l'extrême Est (Aurès) vers la Tunisie. Ces deux chaînes constituent des frontières naturelles entre lesquelles s'intercalent de vastes plaines et hauts plateaux (voir figure 2) Les figures ci-après, présentent : les principales formations Géographiques du Nord au Sud de l'Algérie :



**Figure 2:** Principaux relief d'Algérie. (Benyetou, Boukhlikha,2016)



- Au Nord, au pied de l'Atlas Tellien, se trouvent les plaines côtières qui donnent directement sur la mer méditerranée. La bande du Tell, large de 80 à 190 km, s'étend sur près de 1200 km de côtes. Elle est formée par une chaîne de montagnes (l'Ouarsenis, le Djurdjura, les Babors, les Bibans...) qui longe le littoral. Ces montagnes sont, souvent, séparées par des vallées parcourues de cours d'eau. Ce caractère confère à la région une richesse floristique et faunistique importante. Les plaines et les vallées du Tell abritent une grande partie des terres fertiles du pays.
- Entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien, on trouve un ensemble de plaines et hauts plateaux semi-arides parsemés de nombreuses dépressions appelées « Chotts », lesquels se transforment en lacs salés à la saison des pluies. Le point le plus bas d'Algérie se trouve au Chott Melrhir (-40m). L'ensemble s'étend des frontières marocaines à l'Ouest à la vallée du Hodna à l'Est du pays. Ces steppes se caractérisent par une végétation pauvre et clairsemée ; ces étendues sont colonisées par des associations d'herbacées et des touffes d'alfa.
- L'Atlas saharien, relie le Haut Atlas marocain à la frontière tunisienne où l'on y rencontre le massif des Ksour, le Djebel Amour, les Ziban et les monts Hodna qui rejoignent la bande du Tell à l'Est et continue pour finir dans les Aurès. Il est limité au sud par plusieurs oasis qui constituent ce qui est souvent appelé « La porte du désert ».
- Au sud, avec environ 2 millions de km<sup>2</sup>, le Sahara est l'un des plus grands déserts du monde. Il représente plus de 80% de la superficie de l'Algérie. Il se compose d'immenses dunes, de plaines de sable de plaines de pierres, d'oasis et démontages volcaniques (massif du Tassili et du Hoggar) où culmine le plus haut mont d'Algérie à 2900 mètres d'altitude. Au nord du Sahara, le grand Erg Occidental et Oriental, sont séparés par des plateaux rocheux, telle la région des M'Zab, ils sont bordés au sud par le plateau de Tademaït. Ce sont d'immenses mers de sable ponctuées d'oasis. Au cœur du Sahara, on y trouve le massif du Hoggar, constitué de roches volcaniques formant des pics, des «aiguilles volcaniques » et de hauts plateaux désertique. (**Benyettou, Boukhlikha ; 2016**)

## 2. les Influences Climatiques subit par l'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. Le rythme saisonnier est simple :

- En été, l'Algérie est soumise à l'influence des hautes pressions subtropicales qui, eu égard à sa 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

Le régime des vents est peu uniforme, il varie d'une région à une autre et contribue à accroître l'évaporation, déjà, très vive. Si l'hiver, saison humide, le nord de l'Algérie a un bilan

hydrique, généralement, favorable. En été, le déficit est total, il est, souvent, nécessaire de recourir à l'irrigation pour les cultures de printemps et d'été.

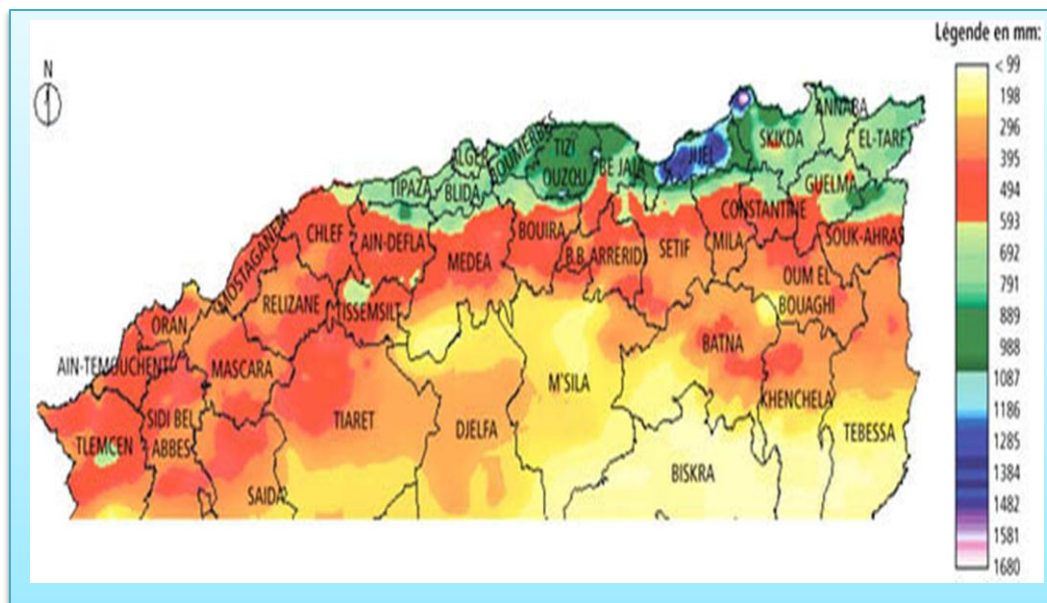
Comme nous le voyons, la région du nord-est algérien subit, directement, l'influence du climat méditerranéen :

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.

- 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.



**Figure3 :** Résume la pluviométrie dans le nord algérien (source ANRH 1993)

- Le climat des Hauts Plateaux est semi-aride. La température avoisine les 5°C voire -7°C en hiver et les chutes de neige y sont fréquentes. La température estivale varie de 30°C à 38°C (Constantine 36°C) avec des précipitations faibles et irrégulières, de 200 à 400 mm par an.
- Le Désert du Sahara est aride, avec des précipitations annuelles extrêmement faibles (moins de 100 mm par an). Les températures varient de 15 à 28°C en hiver, pour atteindre 40 à 45°C, voire plus en été. (**Benyettou, Boukhlikha ; 2016**)

### 3. La Classification bioclimatique d'Emberger et de Sauvage :

Cette classification est largement adoptée dans la région méditerranéenne. Sur la base du Q2, cinq étages bioclimatiques sont définis pour l'Algérie: humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien. Ils sont subdivisés en variantes sur la base des seuils thermiques de la température du mois le plus froid (min).

Ces variantes intéressantes pour la production végétale sont les suivantes:

- Hiver froid à gelées durant de longues périodes,  $-3 < m < 0^{\circ}\text{C}$ .
- Hiver frais à gelées très fréquentes,  $0 < m < 3^{\circ}\text{C}$ .
- Hiver doux à gelées rares,  $3 < m < 7^{\circ}\text{C}$ .
- Hiver chaud à gelées absentes,  $7 < m < 10^{\circ}\text{C}$ .

Outre les températures basses en hiver, les fortes températures de l'été et la sécheresse estivale sont des facteurs limitant pour la production végétale en Algérie.

Les grandes régions écologiques se distinguent relativement bien au nord, se trouvent les zones de cultures (littoral, plaines intérieures, hautes plaines etc....), au centre, les zones steppiques et de parcours et au sud le Sahara avec ses Oasis.

#### a) Les domaines bioclimatiques de l'Algérie :

La combinaison des données climatiques fondamentales (température et précipitations) Permet de définir des domaines bioclimatiques.

La figure suivante, indique les différentes zones bioclimatiques de l'Algérie.

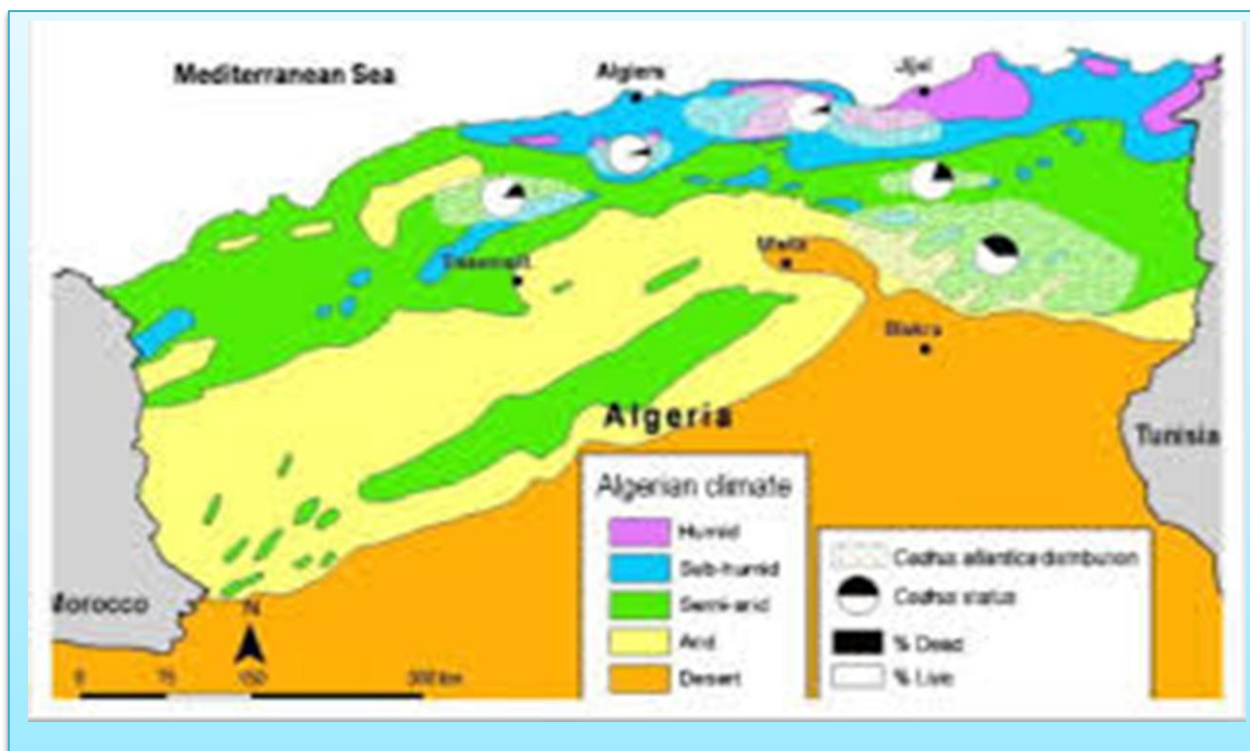


Figure 4 : Les principaux domaines bioclimatiques de l'Algérie (Benyetou, Boukhlikha, 2016)

#### (1) Le domaine humide et subhumide :

Cette région reçoit, en général, plus de 600 mm de précipitations, le nombre de mois secs ne dépasse pas 3 à 4 mois. Ce domaine comprend toute la zone côtière (surtout celle de l'Est) ainsi que l'ensemble montagneux de l'Algérie. Dans cette région, les

cultures sont partout possibles. La forêt méditerranéenne y trouve son terrain avec des arbres toujours verts: les chênes (chêne-liège sur les basses pentes, chêne vert plus haut), les résineux comme le pin d'Alep sur les versants chauds, le pin maritime, le pin pignon, les sapins... Le couvert forestier reste parfois important, mais le plus souvent, il est dégradé.

L'écoulement des oueds se prolonge durant une grande partie de l'année. Le milieu physique, compartimenté et morcelé, est une mosaïque de plaines, de bassins et déversant de montagnes.

### ***(2) Le domaine semi-aride :***

Dans cette région, les précipitations se raréfient et deviennent plus irrégulières: 400 à 600 mm ( le plus souvent réparties entre 50 et 70 jours/an). La saison sèche peut se prolonger jusqu'à 5 et

6 mois. Cette région est, très largement, représentée par les hautes plaines et les hauts plateaux de l'Algérie.

La végétation naturelle est en dégradation continue. Il subsiste quelques thuyas, pins d'Alep, pistachiers, amandiers... Mais, à ce niveau, les formes buissonnantes l'emportent, où se mêle le chêne kermès, l'olivier sauvage, le lentisque, le genévrier, le palmier nain...

### ***(3) Le domaine aride ou steppique :***

Cette région reçoit moins de 400 millimètres de précipitations par an. Le nombre de jours de pluies est compris entre 20 et 40. En réalité, les données moyennes, dans cette région, n'ont guère de significations, car le caractère marquant est la succession d'irrégularités saisonnières et interannuelles, jalonnée par de sévères sécheresses cycliques.

Le caractère continental entraîne des écarts de température considérables. La steppe occupe de vastes étendues des Hautes Plaines algériennes. Au-dessus de 200 mm, elle peut être une formation secondaire qui résulte de la dégradation d'une couverture végétale plus abondante. Au-dessous de 200 mm, c'est une formation de base qui est composée de graminées (alfa) et de buissons ligneux xérophiles (armoïse).

Dans les fonds d'oueds plus humides ou dans les zones d'épandage des crues apparaissent les buissons de tamarix, de jujubier et de laurier rose. L'élevage est la vocation naturelle du milieu steppique sous la forme traditionnelle du nomadisme ou du semi-nomadisme.

### ***(4) Le domaine désertique :***

Cette région reçoit moins de 100 mm de pluies par an, il arrive qu'il ne pleuve pas pendant 12 mois consécutifs, les conditions climatiques y sont extrêmes. Les températures sont de plus en plus marquées par la continentalité et l'amplitude très forte. Dans la partie nord des déserts, les précipitations sont souvent des précipitations d'hiver ou de printemps, mais l'irrégularité saisonnière y domine. Près des basses latitudes (22° et en altitude), les pluies peuvent être d'été, traduisant ainsi la proximité avec la zone tropicale.

Le désert n'est pas, complètement, dépourvu de végétation. Les lits d'oued et les zones d'épandage de piémont peuvent receler une nappe phréatique. Ils peuvent porter une



steppe très ouverte et des fourrés discontinus de buissons ou d'arbustes comme : les acacias et les jujubiers, les tamarix jalonnent les fonds d'oued les plus humides.

### **b) Les Bassins Hydrographiques de l'Algérie :**

Au Nord de la ligne de crête de l'atlas, le Nord Algérien, couvre d'Ouest en Est, 4 grandes régions (bassins) hydrographiques :

Région 1 : côtiers-Oranais, Tafna, Macta et Hautes plateaux Oranais ;

Région 2 : zobries-Algérois, Isser, Soummam, chott Hodna et Zaher ;

Région 3 : côtiers-Constantinois, Seybouse, Kébir-Rhummel, Medjerda et hautes plateaux constantinois ;

Ces 3 régions hydrographiques sont divisées en 16 bassins hydrographiques repartis en 2 catégories :

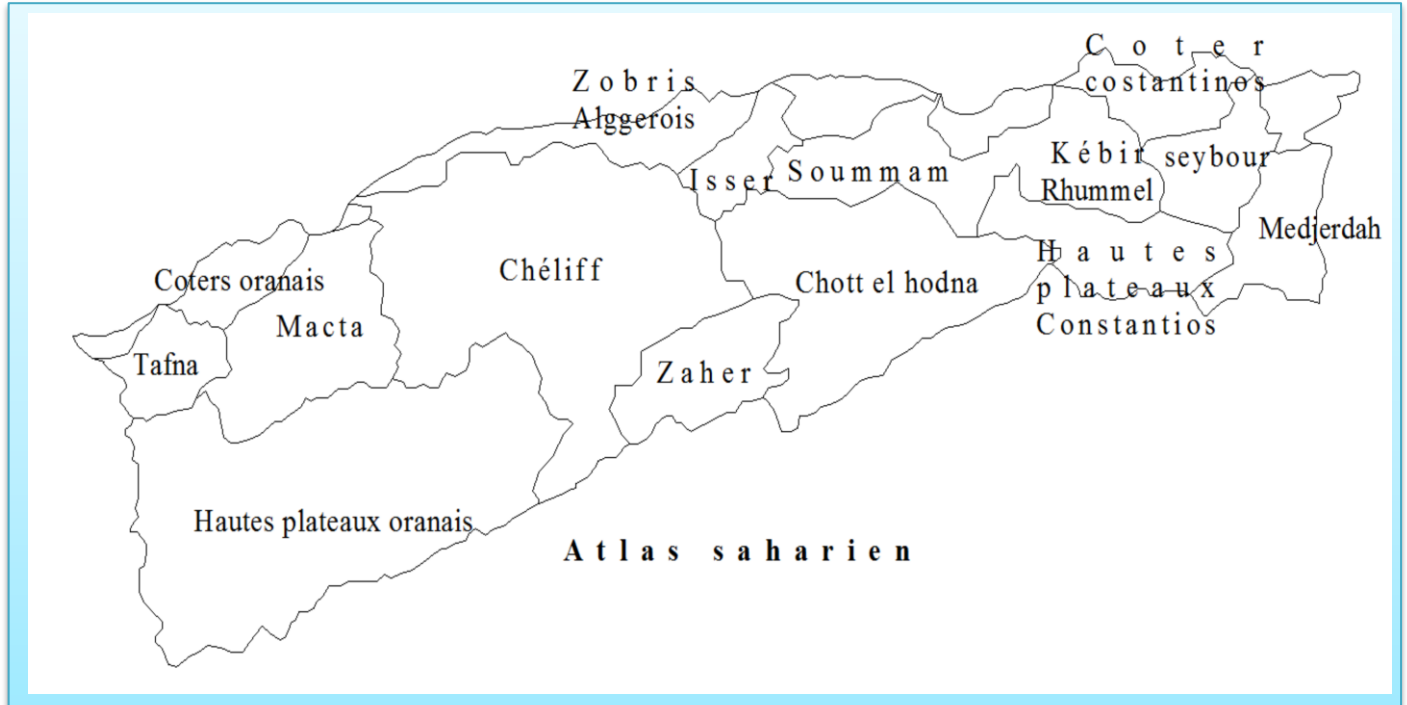
Les bassins tributaires de la Méditerranée, au nombre de 11, des oueds drainant l'Atlas Tellien (les côtiers Algérois, côtiers-Constantinois, et côtiers-Oranais, le Tafna, la Macta-, l'Isser, la Soummam, le Kébir Rhummel, le Seybouse et la Medjerda).

Les bassins endoréiques, au nombre de 4, des oueds dont les écoulements se font vers les chotts (chott Chergui, chott Zaher, chott Hodna, les hauts plateaux Constantinois).

Le flanc Sud de l'Atlas fait partie de la région 4 : le bassin du Chott Melrhir et le bassin du Sahara.

Au total l'Algérie couvre 17 grands bassins hydrographiques. Ces découpages furent initiés lors de l'étude générale intitulée Plan National de l'Eau (PNE) lancée en 1993.

Les superficies de ces bassins sont approximativement comme suit :



**Figure 5 :** Bassins versants sur le nord de l'Algérie (source : ANRH (revue science de l'eau))

#### **4. Le réseau d'observation météorologique en Algérie:**

Pour assurer une surveillance continue de l'atmosphère, l'Office National de la Météorologie

(O.N.M) a mis en place et exploite un réseau de stations d'Observation météorologiques couvrant les différentes régions climatiques du pays et comprenant :

- Stations d'observation en surface.
- Stations d'observation en altitude.
- Stations de recherche et d'observation spéciales (Tamanrasset, Tiaret, ksar chellala).
- Radars météorologiques (un parmi eux c'est un radar do plaire) et plus de **400** postes Climatologiques.

Les critères de choix des stations sont basés sur trois critères essentiels :

- Données d'observations complètes ou quasi complètes.
- Stations professionnelles.
- Répartition spatiale uniforme.

Les séries d'observations des postes auxiliaires étant soit lacunaires soit douteuses, on utilisera autant que possible les données recueillies par les stations professionnelles.

#### **➤ Base de données du réseau d'observation météorologique en Algérie:**

Pour une région donnée, les stations pluviométriques forment un réseau d'observation. Elles fournissent des mesures ponctuelles. Les données relatives aux stations sont d'une haute importance pour les statistiques climatiques, la planification et la gestion des ressources et les projets de construction ; la nature et la densité des réseaux doivent donc tenir compte,

du phénomène observé, du but des observations, de la précision désirée, de la topographie, de facteurs économiques ou d'autres encore.

La représentativité des précipitations par les mesures est fonction du réseau d'observation.

Plus celui-ci est dense, meilleure est l'information et plus l'ensemble des mesures est représentatif de la lame d'eau tombée sur une surface donnée. Cependant le réseau est le résultat d'un compromis entre la précision désirée et les possibilités ou charges d'exploitation.

Le réseau devra donc être planifié. Il existe plusieurs théories sur la planification optimale d'un réseau, mais elles donnent des résultats approximatifs, qui doivent toujours être adaptées aux contraintes locales et financières.

La météorologie devra donc faire appel à son expérience de terrain pour planifier un réseau. Il Tiendra compte du relief et du type de précipitations (frontales, orographiques, convectives). Il S'assurera également des facilités d'accès, de contrôle et de transmission des informations (par L'homme ou par télétransmission : téléphone, satellite, etc.

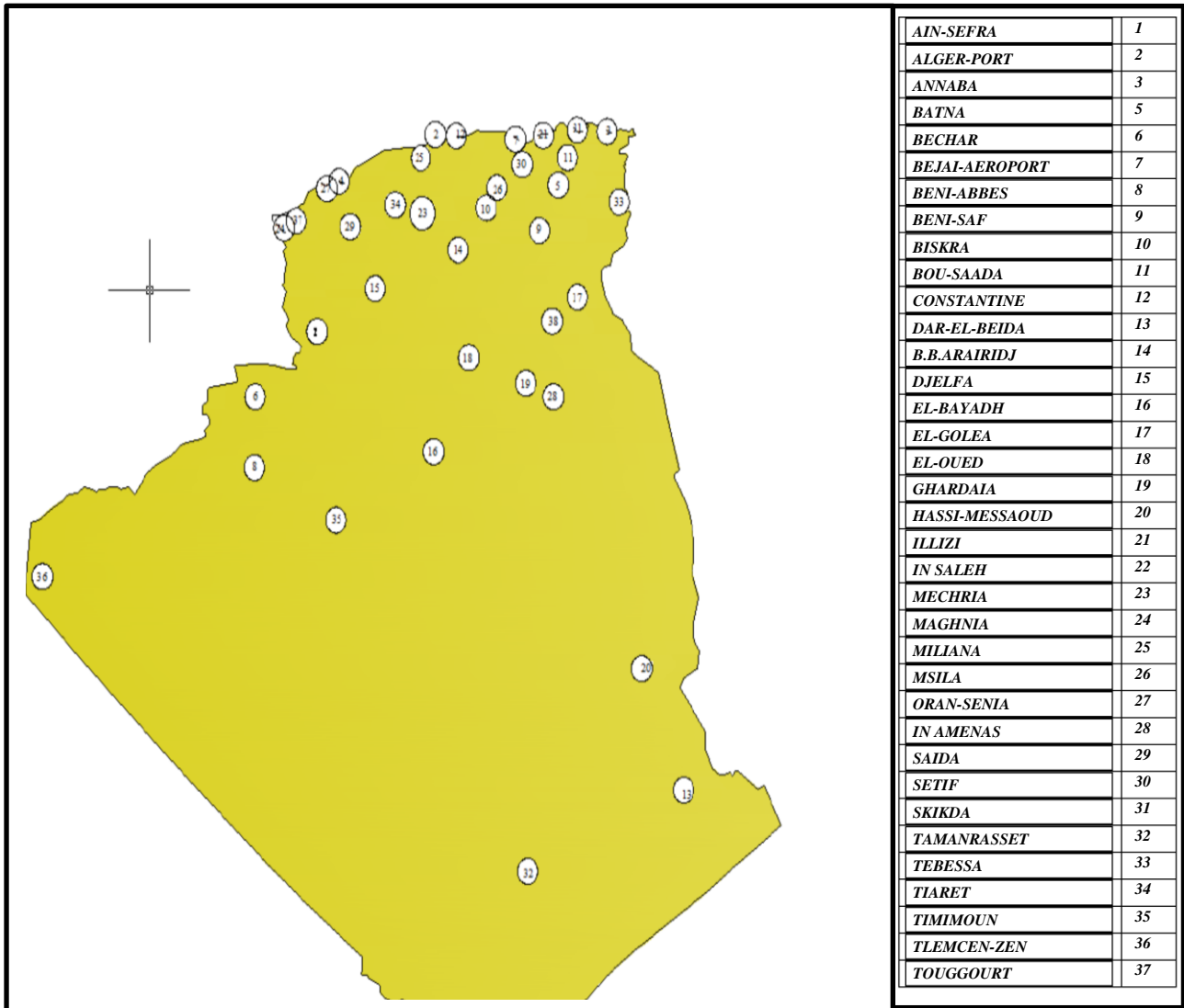


Figure 6: Répartitions des stations pluviométriques du réseau d'observations Météorologique en Algérie (Source l'OMM).

## ***Conclusion :***

L'Algérie fait partie de la zone subtropicale de l'Afrique du Nord. Le climat en Algérie diffère d'une région à une autre. La partie nord de l'Algérie est caractérisée par un climat méditerranéen avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La pluviométrie annuelle atteint 284 mm à l'ouest, 611mm au centre et 657mm et plus à l'est pour le littoral.

Le climat semi-aride domine les hauts plateaux. Il est plus froid et neigeux pendant l'hiver et plus chaud et secs pendant l'été. Les précipitations sont, certaines années, insuffisantes pour y maintenir les cultures où l'évaporation excède souvent les précipitations. Il s'agit donc d'une zone subdésertique, caractérisée par une saison sèche s'étendant sur la plus grande partie de l'année et une saison « humide », avec de faibles précipitations (pluviométrie comprise entre 200 et 400 mm/an).

Climat aride, dans le vaste désert algérien, le climat est typiquement désertique, caractérisé par la chaleur et la sécheresse toute l'année, ce qui contribue à une aridité très prononcée. L'été est torride, long ou très long dans l'ensemble du territoire saharien mais la chaleur annuelle moyenne augmente généralement en allant de plus en plus au sud; en hiver, la région la plus chaude est située loin dans le sud, où pendant les journées hivernales, la température maximale reste autour de 25 °C, 28 °C en janvier, alors qu'en été, les températures maximales moyennes tournent autour de 44 °C, 48 °C en juillet - août avec des pics de 50 °C, 53 °C à l'ombre, notamment dans le « triangle de feu », zone délimitée par Adrar - Regagne - In Salah, alors que l'extrême sud est parfois touché par la mousson d'Afrique de l'Ouest, qui apporte quelques passages nuageux et des averses occasionnelles, d'où la baisse relative de température.



### ***I. Introduction***

L'eau est un élément rare et un facteur essentiel qui conditionne fortement l'avenir et ce, indépendamment de tout changement climatique. Au centre du Maghreb, l'Algérie est un pays en stress hydrique qui devrait connaître une situation de pénurie d'eau (**Senoussi et al, 1999**). Afin de mieux comprendre l'évolution d'un élément climatique, l'étude des paramètres climatiques demeure indispensable. Enfin, notre attention se portera sur l'impact des changements climatiques et de l'influence anthropique sur le cycle hydrologique.

Ainsi la définition des différentes méthodes et les outils qui vont être utilisés pour montrer l'existence d'une variation du régime pluviométrique au niveau de l'Algérie.

### ***II. Les concepts Généraux :***

#### ***1. Cycle global de l'eau (cycle de l'eau) :***

**LABORDE (2009)** a défini le cycle de l'eau, cycle hydrologique, comme l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous-sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables :

Une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années. A ces apports atmosphériques s'ajoute l'apport éventuel de l'amont du versant, par des écoulements superficiels transitant en ce point.

Enfin, à ces apports naturels s'ajoutent les apports artificiels de plus en plus fréquents dans les bassins à forte agriculture intensive, par une irrigation recyclant de l'eau prélevée dans les réserves superficielles ou souterraines du bassin, voire même importée d'un autre bassin.

#### ***2. Composants du cycle hydrologique :***

Le cycle hydrologique est composé de quatre phases principales, deux phases se déroulent dans l'atmosphère et les deux autres réfèrent au ruissellement, se déroulent en contact avec la surface terrestre, ce sont :

##### **➤ *Complexe Évaporation-Transpiration :***

L'Évaporation est un processus physique au cours duquel un liquide se transforme en vapeur, et la transformation d'un solide tel que la neige ou la glace, sans passer par l'état solide, s'appelle la sublimation (Environnement Canada, 2013). L'évaporation désigne les pertes en eau des plans d'eau libre sous forme de vapeur (lacs, retenues, mares) ; alors que l'Évapotranspiration, regroupe l'évaporation et la transpiration. Elle est liée à un certain nombre de paramètres climatiques tels que température, vent, humidité, rayonnement etc. (**Morell, 1999**).

##### **➤ *Précipitations :***

Durant son ascension dans l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et finit par se condenser, généralement autour de minuscules particules de poussière dans l'atmosphère. En se condensant, elle redevient liquide ou passe directement à l'état solide (glace, grêle ou neige). Ces particules d'eau s'assemblent pour former des

nuages. Selon la température de l'air ambiant. Une partie de l'eau précipitée retourne vers l'atmosphère par le phénomène d'évaporation (Morell, 1999), l'eau non restituée à l'atmosphère migre sous deux formes :

▪ **L'écoulement de surface (Ruissellement) :**

La pluie ou la fonte des neiges excessives peuvent produire un écoulement de surface vers les ruisseaux et les fossés. Le ruissellement est l'écoulement d'eau que l'on peut voir dans les ruisseaux, les lacs et les cours d'eau lorsque l'eau emmagasinée dans un bassin s'en écoule.

▪ **L'écoulement souterrain (Eau souterraine) :**

Quelle que soit son origine, l'eau disponible à la surface du sol, est soumise à la pression atmosphérique, tend toujours à pénétrer dans le sol (Ambroise, 1998). Une partie des précipitations et de l'eau provenant de la fonte des neiges s'écoule, percole ou s'infiltrate dans les fissures, Les joints et les pores du sol et de la roche jusqu'à ce qu'elle atteigne la surface de saturation pour devenir de l'eau souterraine. Selon la géologie de la région, L'eau souterraine peut alimenter les cours d'eau et peut être puisée au moyen des puits Parfois très vieille, elle peut être restée au même endroit pendant des milliers d'années. (Environnement Canada, 2013). Si elle n'est pas utilisée par l'homme, les eaux souterraines parviennent finalement à la mer (Morell, 1999).

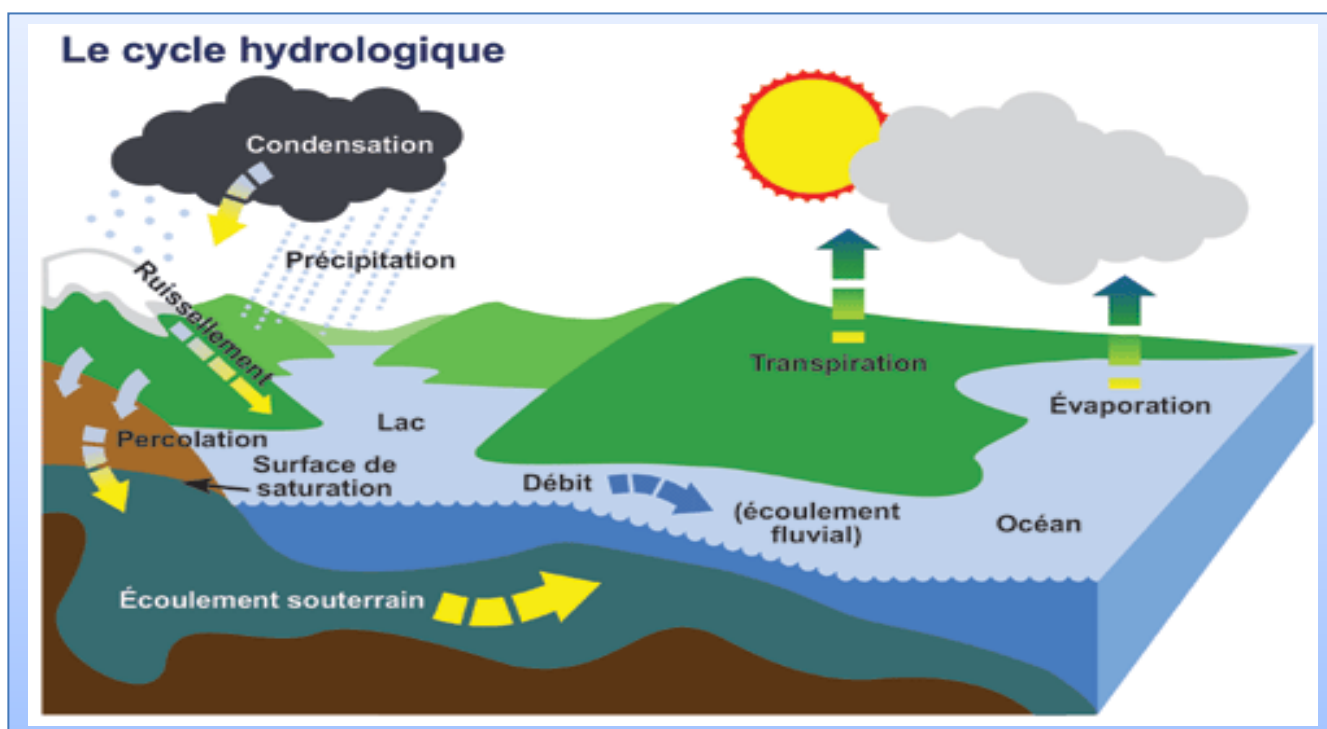


Figure 7 : Schéma du cycle hydrologique (Environnement Canada, 2013 revue de l'eau).

**3. La Précipitation :**

La précipitation est toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre, sous forme liquide (pluie, bruine) ou solide (neige, grêle, grésil) (Morell, 1999).

D'un point de vue physique, la pluie peut être définie comme des gouttes d'eau d'un diamètre variant entre 0,5 et 5 mm, tombant ou non sur le sol (reprise par l'évaporation ou par les mouvements de l'atmosphère) (Morell, 1999).

**4. Classification des précipitations :**

Sur la base des phénomènes météorologiques qui leur donnent naissance, ou qui les accompagnent, on peut diviser les précipitations en trois classes :

1. Précipitations de convection
2. Précipitations Orographiques
3. Précipitations cycloniques ou de fronts (chaud ou froid).

**5. Répartition de précipitation :**

La grande variabilité des précipitations, à la fois dans l'espace et dans le temps, joue un rôle considérable en hydrologie.

**5.1. Inégale répartition dans l'espace :**

L'inégale répartition des précipitations, à laquelle il a déjà été fait allusion, s'observe quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte.

**5.1.1. À l'échelle du globe :**

La quantité moyenne de vapeur d'eau contenue sur l'ensemble de la planète correspond, à une lame d'eau de 25mm. Cette valeur diminue régulièrement de l'équateur au pôle, et d'été en hiver, en relation avec la quantité de chaleur disponible pour l'évaporation.

La distribution de l'humidité atmosphérique à la surface du globe est en bonne relation avec la répartition de l'évaporation et la circulation de vents dominants. La répartition mondiale des précipitations n'est pourtant pas aussi simple, dans la mesure où l'occurrence de précipitation est étroitement dépendante des conditions locales d'ascendance.

À l'échelle du globe, les zones de précipitations maximales sont les zones équatoriales et les régions de mousson (figure 2).

À l'opposé, les zones de faibles précipitations sont les zones subtropicales et les régions polaires, pour des raisons toutefois complètement différentes : dans le premier cas l'absence de précipitations est due à la présence de celles de hautes pression empêchant toute ascendance de l'air, alors que dans les régions polaires la faiblesse des précipitations résulte de la faible teneur en eau de l'atmosphère dont les températures sont très basses.

**5.1.2. À l'échelle régionale :**

À l'échelle de pays comme l'Algérie, les influences orographiques apparaissent vite comme déterminantes. Les régions les plus arrosées sont représentées dans l'Est de l'Atlas Tellien. Elle exprime l'influence simultanée de l'orographie et de la circulation

atmosphérique régionale durant toute l'année. La moyenne annuelle atteint 800 mm, le régime pluviométrique se caractérise par un maximum pendant la saison froide, et par des intensités pluviométriques relativement fortes.

C'est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie. Elle est soumise au climat méditerranéen, caractérisé par un été sec et ensoleillé. Les moyennes annuelles des précipitations sont du Sud au Nord très variable.

### 5.1.3. À l'échelle locale :

À l'échelle locale, même pour de toutes petites surfaces, la variabilité des précipitations peut être considérable; elle est toutefois d'ampleur différente suivant les types de pluies, bien plus importante pour des pluies convectives que pour des pluies cycloniques. Or il s'agit là, notamment en ce qui concerne la grève des crues, d'un phénomène d'autant plus fondamental qu'il est difficile à connaître avec précision. Cette inégale répartition dans l'espace à l'échelle du bassin versant a fait l'objet de nombreuses recherches, dans la mesure où cette préoccupation rejoint la question de la mesure des précipitations. (Robinson M. 2000).

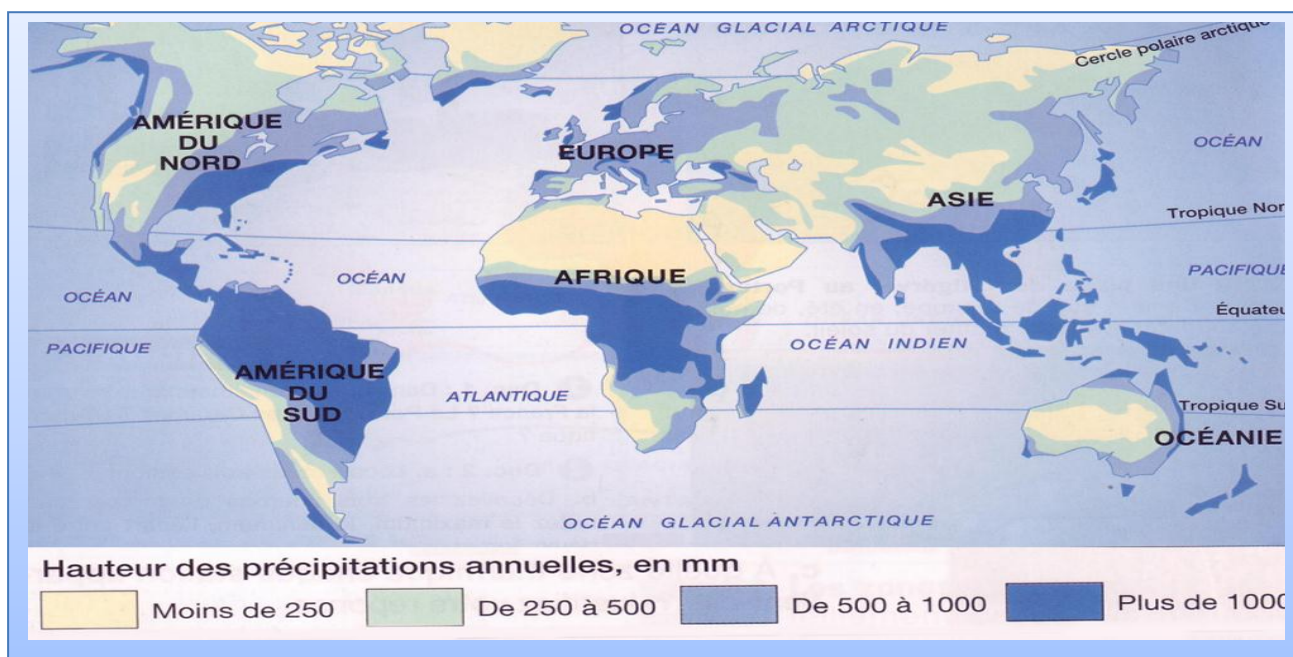


Figure 8 : Répartition mondiale des précipitations (publication ; Précipitations dans le monde)

### 5.2. L'inégale répartition des pluies dans le temps :

La mesure des précipitations en un point donné montre de grandes différences d'une heure à l'autre, d'une semaine à l'autre, et même d'une année à l'autre. A un pas de temps fin, cette variabilité est bien plus importante pour la pluie que pour tout autre Composante du cycle hydrologique ; l'évaporation.

En théorie, la distribution des précipitations est déterministe, puisqu'elle dépend de la circulation atmosphérique et des propriétés des masses d'air. Mais d'un point de vue pratique, seule l'approche statistique, fondée sur de longues périodes d'observation, est possible.

La variabilité des précipitations est soumise à trois séries temporelles de variation : les variations journalières, aléatoires et cycliques, liées aux rythmes nyctéméral et saisonnier du soleil. Enfin des variations à long terme peuvent s'assimiler à des tendances ou à des modifications climatiques. (BRAHIMI.D ,2014)

### **5.2.1. Variations aléatoires :**

La grande variabilité interannuelle des pluies résulte du fait que, le plus souvent, une part importante de la pluie annuelle se produit lors d'un petit nombre d'événements pluvieux, et que l'occurrence de ces événements est très aléatoire. Ceci apparaît immédiatement si l'on regarde les courbes annuelles des hauteurs de pluies classées pour deux stations de climats très différents. Il est facile de comprendre que l'occurrence ou l'absence de ces événements pluvieux affecte sensiblement le total annuel, et l'irrégularité est d'autant plus grande que le nombre d'événements est petit. Ainsi, la variabilité interannuelle est la plus forte dans les régions de faible pluviosité où la pluie ne tombe qu'occasionnellement, que pour des régions où la pluie est fréquente, explique que la fiabilité de l'estimation des précipitations moyennes en climat aride et semi-aride est particulièrement sensible à la longueur des séries d'observations. (BRAHIMI.D ,2014)

### **5.2.2. Variations périodiques :**

Il existe des variations des minimums et des maximums pluviométriques se produisant à un rythme relativement régulier, et donc assimilables à des cycles. Les plus connus sont les cycles diurnes et les cycles annuels. Dans l'un comme dans l'autre cas, les précipitations se produisent dans les périodes les plus chaudes, quand la teneur en eau de l'atmosphère est la plus élevée, et la convection thermique la plus forte. Les variations diurnes ne sont importantes que dans les régions où l'essentiel des précipitations est d'origine convective, résultat de la surchauffe de la surface du sol pendant l'ajournée. Ce type de variation se rencontre essentiellement en climat tropical humide. (BRAHIMI.D ,2014)

### **5.2.3. Variation séculaire :**

L'histoire des climats commence à être bien connue et il n'y a plus de doute sur le fait que le climat ait changé au cours des temps passés, et pas de raison de penser que de tels changements ne peuvent pas se reproduire. La question de savoir si de telles modifications du climat à long terme ont un caractère cyclique ou non demeure un sujet de controverse.

Pourtant, ce consensus actuel autour de l'idée selon laquelle le climat n'est pas forcément stable est un fait nouveau dans l'histoire des sciences. A la fin du 19<sup>e</sup> siècle certains chercheurs pensaient qu'un enregistrement continu pendant 35 ans permettait de connaître la pluviométrie annuelle moyenne vraie à 2% près. Cet optimisme n'est plus de cours aujourd'hui. (Robinson M. 2000)

## **6. Régime des précipitations :**

En utilisant la seule donnée de précipitation dans une nomenclature climatique, on parvient à définir une répartition mondiale des différents régimes pluviométriques. Pour identifier et classer les diverses régions pluviométriques du globe, on a



habituellement recourt aux précipitations moyennes mensuelles ou annuelles (évaluées sur une longue période) et à leurs variations. La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'année (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle. Une classification pluviométrique générale basée sur les données annuelles est fournie par le tableau suivant :

<i>Nom</i>	<i>Caractéristiques</i>
<b>Régime équatorial humide</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de 200 cm de précipitations annuelles moyennes</li> <li>- à l'intérieur des continents et sur les côtes</li> <li>- région typique de ce régime : bassin de l'Amazone</li> </ul>
<b>Régime subtropical humide en Amérique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-entre 100 et 150 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- à l'intérieur des continents et sur les côtes</li> <li>- région typique de ce régime : pointe sud-est de l'Amérique du Nord</li> </ul>
<b>Régime subtropical sec</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de 25 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- à l'intérieur des continents et sur les côtes ouest</li> <li>- région typique de ce régime : le sud du Maghreb</li> </ul>
<b>Régime intertropical sous l'influence des alizés</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de 150 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- sur des zones côtières étroites ; humidité</li> <li>- région typique de ce régime : côtes est de l'Amérique Centrale</li> </ul>
<b>Régime continental tempéré</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- entre 10 et 50 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- à l'intérieur des continents ; il en résulte des déserts ou des steppes</li> <li>- région typique de ce régime : plaines de l'ouest du continent nord-américain</li> </ul>
<b>Régime océanique tempéré</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- plus de 100 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- sur les côtes ouest des continents</li> <li>- région typique de ce régime : la Colombie britannique, l'Europe</li> </ul>
<b>Régime polaire et arctique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de 30 cm de précipitation annuelle moyenne</li> <li>- se situe au nord du 60e parallèle ; formation de grands déserts froids</li> <li>région typique de ce régime : le Grand Nord canadien</li> </ul>

**Tableau.1** : Régimes pluviométriques du monde (Tiré de Champoux, Toutant, 1988)

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

### 7. Influence de l'altitude :

**L'altitude**, c'est la hauteur d'un lieu précis par rapport au niveau de la mer.

Plus on monte, plus la température et la pression atmosphérique baissent et influencent les précipitations. Dans les régions tempérées, la disposition et les caractéristiques du relief jouent beaucoup sur le climat. Les montagnes ont des caractéristiques différentes sur les deux versants. On a plus de précipitations sur le versant balayé par le vent que sur le versant opposé dont l'air est plus sec. Aux pôles et à l'équateur, les reliefs n'influencent pas beaucoup le climat.

Le régime pluviométrique d'une région est déterminé par les traits géographiques, orographiques, les principaux paramètres climatiques qui varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagnes et de l'exposition. La tranche pluviométrique est dépendante de la position des principaux reliefs par rapport à la mer donc aux vents humides.

Elle diminue d'est en ouest et du nord vers le sud, elle est importante sur les versants nord et sur les sommets élevés. L'influence de la mer, le compartimentage du relief imposent des Nuances aux rythmes des précipitations.

L'influence de l'altitude sur la distribution géographique des précipitations est variée. Il y a une hausse des précipitations en fonction de l'altitude dans les stations exposées aux flux pluvieux, avec une variation du gradient de l'Ouest vers l'Est. Quoiqu'il en soit, l'altitude n'est pas toujours le facteur le plus important dans la distribution géographique des précipitations. D'autres facteurs tels que la distance de la station par rapport au sommet, la position du relief par rapport à la mer, la morphologie de l'orographie jouent aussi un rôle important.

### 8. La variabilité temporelle :

La variabilité dans le temps des précipitations annuelles sont évaluées à partir du coefficient de variation. Pour le calcul de on a procédé par les étapes suivantes :

- **La variance(V)**= $1/N * \sum (X_i - \text{moy})^2$  .
- **L'écart type(S)**= $(V)^{1/2}$
- **.CV=S/ Xi moy**

Avec :

**Xi**. Moy: les précipitations moyennes.

**V**: la variance.

**N**: nombre de série.

**S** : l'écarte type.

**Cv**: le coefficient de variation.

**9. La concentration de la pluie :**

La concentration des précipitations dans une année est un aspect important du climat. Une répartition inégale des précipitations évoque périodes d'excès de précipitations et des périodes de sécheresse qui rendent la croissance de la plante et récolte difficile. La concentration des Précipitations doit être prise en compte dans l'évaluation et la prévision des pertes de sol par érosion hydrique.

**10. L'agressivité de la pluie :**

La sensibilité générale du milieu physique est particulièrement aggravée par les oscillations thermiques et surtout pluviométrique. En effet, partout les amplitudes sont très accusées et surtout brusques, au cours de certaines périodes de l'année.

Les précipitations, sont très irrégulières et se réduisent souvent à quelques journées de la saison pluvieuse, alors que quatre à cinq mois, voire six, sont pratiquement secs. Les maximas qui sont fréquemment représentés par des butes torrentielles interviennent Assez souvent en quelques heures.

Les conséquences sont donc très importantes, tant sur le plan physique que sur le plan humain, d'autant plus que la subsistance des paysans dépend étroitement de la pluviosité et que la majeure partie des sols et roches est le plus souvent exposée aux phénomènes atmosphériques.

L'enregistrement des pluies se fait à l'aide d'un appareil appelé pluviographe, Celui-ci nous Fournit pour chaque pluie une courbe particulière appelée pluviogramme; la détermination de l'indice d'agressivité des pluies suppose un dépouillement des pluviogrammes des pluies.

Les pluies sont contrôlées par les caractéristiques des précipitations. En règle générale, les caractéristiques des précipitations changent radicalement dans l'espace et le temps. L'érosivité des pluies a été étudiée en utilisant l'indice modifié Fournier (IMF).

L'agressivité des précipitations vis-à-vis des sols dépend surtout de leur intensité (généralement exprimée en litres par seconde et par mètre carré ou en millimètres par heure).

**11. 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 pose de nombreux problèmes d'ordre socio-économiques, spécialement à l'agriculture dans les plaines de la Mitidja, du Haut Cheliff, du Sig, de Ghriss, de Sidi Belabess et de Maghnia (**fig6**). Pour continuer à produire, les paysans ont eu recours à une utilisation excessive des eaux souterraines, ce qui a provoqué une baisse considérable du niveau des nappes. La sécheresse est récurrente, omniprésente en raison de températures élevées et d'une pluviométrie très variable en région méditerranéenne.

Plusieurs travaux sur la pluviométrie de l'Algérie ont été menés depuis le dernier siècle, mais la plupart d'entre eux en font une analyse superficielle sur quelques stations en se basant sur le calcul de la moyenne. Ce n'est qu'en 1946 grâce aux travaux de **Seltzer** sur le climat de L'Algérie qu'une analyse détaillée sur la pluviométrie est établie.



En Algérie, en considérant les stations du nord par une méthode comparative des moyennes (1974/1992) par rapport à celle de **Chaumont 1913/1963**) et à la moyenne de longue durée (1922/1992), ont constaté que l'ampleur du déficit pluviométrique de la dernière période (1974/1992) s'intensifie d'est en ouest. Ils mettent en évidence la tendance à la sécheresse des vingt dernières années et font apparaître des sécheresses analogues durant les années **1913 et 1940**.

**Farmer et Wigly** donnent l'évolution d'un indice de sévérité de la sécheresse sur la même région et relèvent l'occurrence de sécheresse sévères et généralisées durant des années très isolées : **1937, 1961, 1970**.

**Matariet Douguédroit (1993)** appliquent une analyse en composantes principales avec rotation Varimax sur deux réseaux et sur deux périodes différentes ; ils ont abouti à une division régionale de l'ouest Algérien pour une analyse spatio-temporelle de la pluviométrie.

Les auteurs ont remarqué que la sécheresse des années **40** est principalement due à une baisse de pluie de printemps et que celles des années **80** à une baisse de pluie d'hiver.

**Meddi et Humbert (2000)**, a partir d'une étude sur la sécheresse ont constaté qu'un déficit pluviométrique apparaît à partir de **1970**, et persiste encore actuellement.

Ce déficit génère un grave problème d'ordre économique et social, compte tenu de la pression croissante qui exerce sur la ressource en eau (alimentation en eau potable, irrigation...).

Cette synthèse bibliographique montre l'importance du phénomène étudié et combien la communauté scientifique s'intéresse à la sécheresse, principalement aux indicateurs de sécheresse comme éléments essentiels pour la gestion de la pénurie d'eau. Les risques de sécheresse ainsi que la préparation et l'élaboration des plans d'intervention pour la réduction des impacts potentiels de la sécheresse ont retenu l'attention de plusieurs chercheurs.

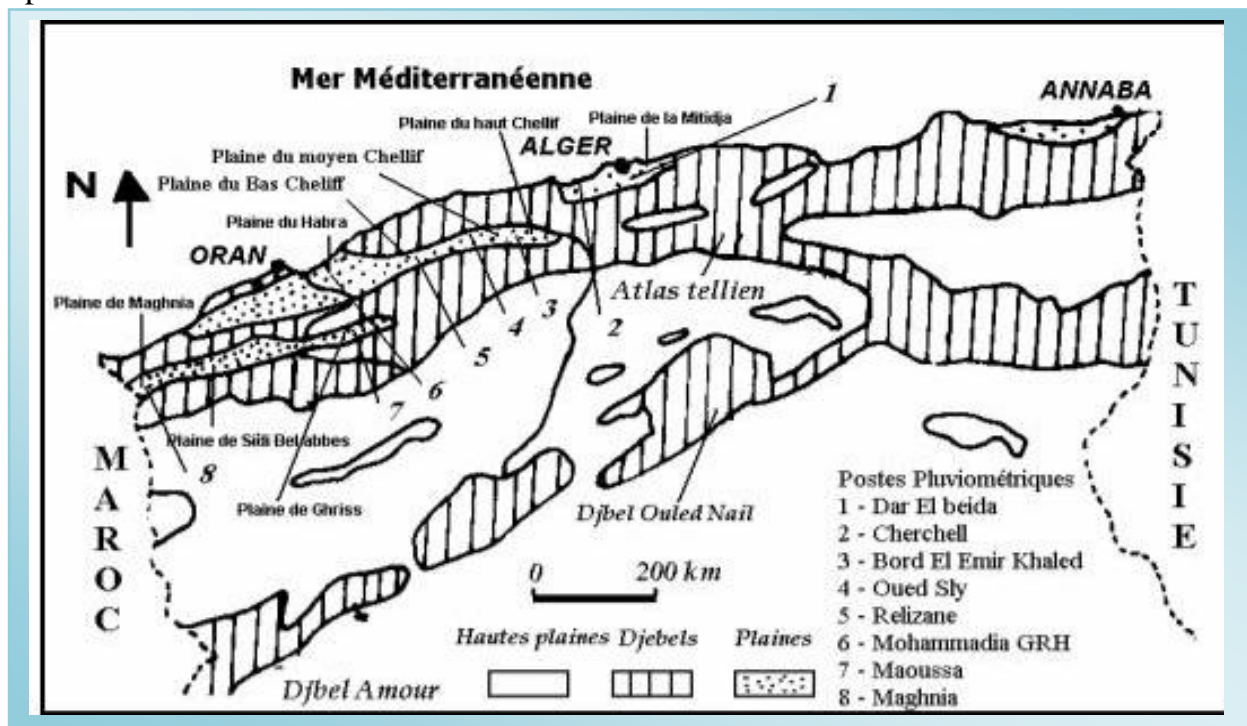


Figure 9 : Les grands ensembles du relief de l'Algérie du Nord des plaines (Benyetou,2014)

**12. Le rôle de l'altitude et de la latitude sur les hauteurs pluviométriques :**

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.

Le massif montagneux du Djurdjura est naturellement destiné par son altitude (2308m). Sa proximité relative la mer (45 à 50 Km) et par son orientation Est-Ouest, à recevoir en hiver, la masse principale des pluies dont une partie tombera sous forme de neige (à partir de 700- 800m d'altitude) ce qui constitue un atout hydrologique important pour l'alimentation de l'Oued et ses affluents. De ce fait la grande Kabylie peut être considérée comme l'une des régions les plus arrosées d'Algérie.

Comme la région de Djurdjura la pluviométrie est plus importante (altitude >1000m). Les quantités de pluies reçues accompagnées de neige varient de 1500 à 2000 mm/an, tandis que la zone littorale et piémonts, présentent des précipitations moindres qui oscillent entre 800 et 900 mm/an.

En plus de l'orientation des versants, la pluviosité varie en Algérie sous l'influence de plusieurs paramètres géographiques, altitude, latitude, longitude et distance à la mer La quantité de pluie augmente avec l'altitude, elle est plus abondante sur les reliefs qu'en plaine (répartition orographique) ; mais, elle est plus élevée sur les versants bien orientés face aux vents pluvieux du NW, que sur les autres.

La pluviométrie est plus importante sur le littoral, que dans les régions situées plus au sud L'Algérie, en effet, dresse sur son littoral les pentes de la chaîne tellienne, qui reçoit de plein fouet les flux perturbés et fait écran aux plaines et bassins intérieurs. Il y a une décroissance rapide des pluies à mesure que l'on s'éloigne du littoral vers l'intérieur du pays (sous l'effet combiné de la latitude, de l'éloignement de la mer et de la continentalité).

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 Hautes Plaines et supérieure 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 :**

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 espagnol 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 sud de l'Europe et le nord de la Tunisie...

➤ **Un gradient latitudinal :**

Les précipitations moyennes annuelles varient de 50mm dans la région du M'Zab à 1500mm à Jijel. Cette diminution du littoral vers les régions Sahariennes sont due à la grande distance traversée par les dépressions qui doivent affronter sur leur parcours les deux chaînes atlasiques.

### **III. Changement climatique :**

Le changement climatique est une variation de l'état du climat que l'on peut déceler par les modifications de la moyenne et/ou les variations de ses propriétés et qui persiste pendant de longues périodes, généralement pendant des décennies ou plus (**GIEC, 2007**).

#### **1. Les indicateurs de l'évolution climatique :**

##### **1.1. À l'échelle globale :**

Selon le 4ème rapport du GIEC publié en 2007, les changements climatiques observés à l'échelle globale peuvent être résumés en :

- L'augmentation de la température moyenne à la surface de la terre. Selon le même rapport la nouvelle valeur de la vitesse moyenne du réchauffement au cours des cents dernières années (**1906-2005**) de 0,74 (0,56 à 0,92) °C est donc plus grande que n'était la valeur analogue calculée au moment du troisième Rapport de 0,6 (0,4 à 0,8) °C pour la période (**1901-2000**).
- Une diminution dans la masse des calottes de glace du Groenland et de l'Antarctique.
- Modification de la fréquence des événements extrêmes.
- Augmentation de la température des océans, et aussi du contenu d'énergie thermique de l'océan.
- Augmentation du niveau moyen des océans. Le niveau de la mer était mesuré par des marégraphes le long des côtes continentales et de quelques îles, en moyenne annuelle sur toute la planète, s'est élevé à un rythme de **0,7 mm/an** entre 1870 et 1930 et d'environ **1,7 mm/an** après 1930. Depuis 1992, les mesures sont effectuées par satellites : la hausse du niveau moyen global de la mer est de l'ordre de 3,4 mm/an.
- Entre 1900 et 2005, les précipitations ont fortement augmenté dans l'est de l'Amérique du Nord et du Sud, dans le nord de l'Europe et dans le nord et le centre de l'Asie, tandis qu'elles diminuaient au Sahel, en Méditerranée, en Afrique australe et dans une partie de l'Asie du Sud. Il est probable que la sécheresse a progressé à l'échelle du globe depuis les années 1970 (**OMM, 2007**).
- Les indicateurs biologiques, tels que les déplacements de populations animales Terrestre ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue d'un réchauffement climatique.
- Les événements climatiques extrêmes comme les inondations, les sécheresses et les Vagues chaleurs.

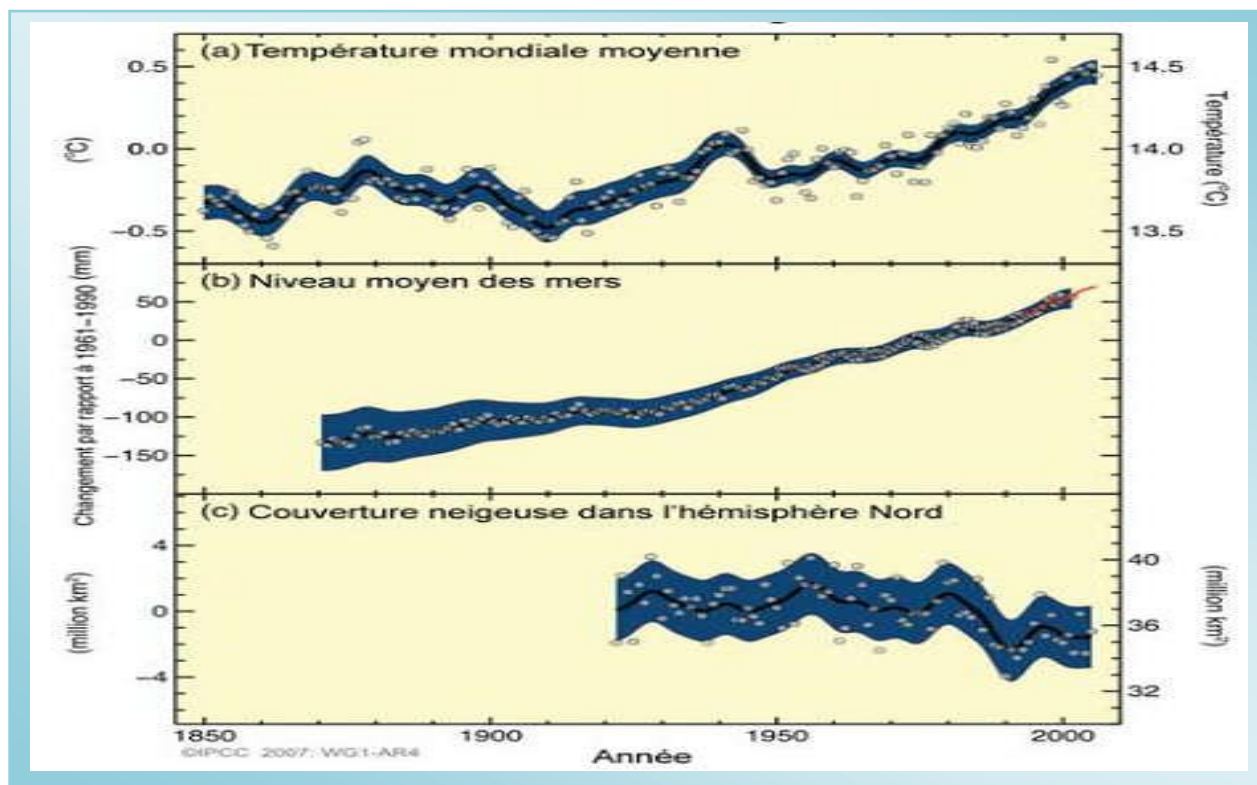


Figure 10 : Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale source : GIEC ; 5èmé rapport

**1.2. A l'échelle régionale (l'Algérie) :**

En Algérie, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement est plus important que la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'une sécheresse. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles ont subi une augmentation de 0.5°C tenu du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire, particulièrement à l'Ouest du pays. La baisse de la pluviométrie dans cette période est estimée à environ 10% de la moyenne. Donc le changement climatique en Algérie se présente sous forme d'une sécheresse. (ABDERRAHMANI.BELAI, 2001)

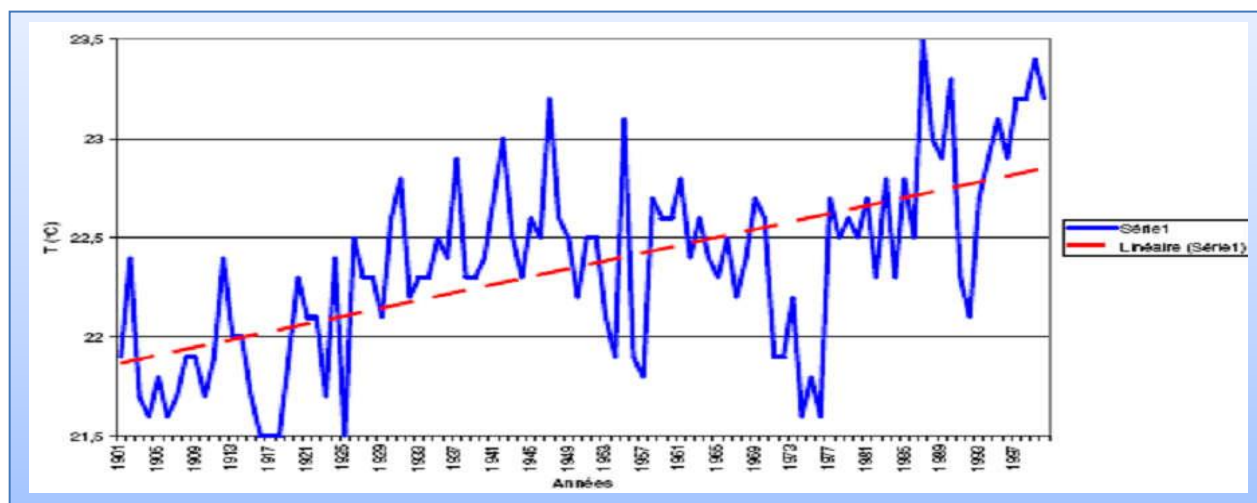


Figure.11. Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008).



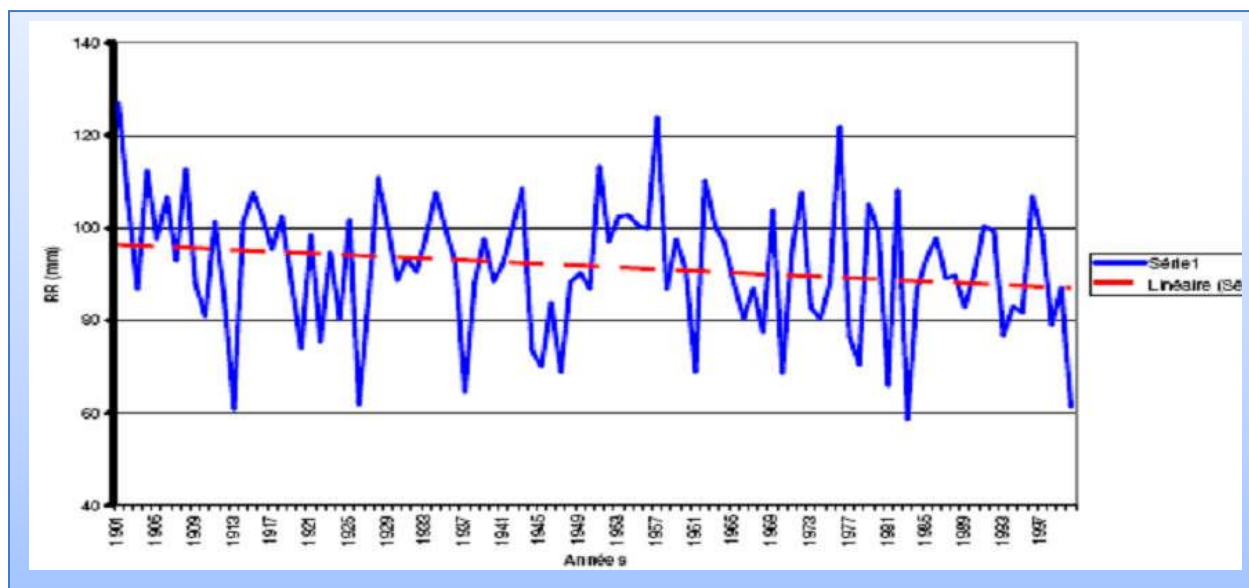


Figure.12 : Evolution précipitations moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000) (Djellouli, 2008)

## 2. Causes de changements climatiques :

Les facteurs, causes, susceptibles d'évolution des changements climatiques, sont :

- L'augmentation des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre, comme **(Puget Et al. 2010)** :
  - Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : Les études montrent que l'origine de cette augmentation est due pour plus de la moitié à la combustion des combustibles fossiles, Le reste aux déboisements massifs et pour une faible part à la production de ciment.
  - Le méthane (CH<sub>4</sub>) : (dû notamment aux fermentations diverses, aux fuites de gaz Naturels et à la fonte du pergélisol).
  - Le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) : dû en grande partie aux activités agricoles (dont biodégradation des nitrates agricoles dans les milieux souterrains anoxiques), sa concentration a augmenté de 20 % sur la même période.

« Les rejets de gaz à effet de serre d'origine anthropique sont responsables d'environ 75% du phénomène des changements climatiques **(Saidi, 2011)**. La radiation du Soleil reçue par la Terre hors de l'atmosphère à une latitude donnée en été Ou en hiver dépend de la luminosité du Soleil et de la distance de la Terre au Soleil, et de L'orientation de l'axe de rotation de la Terre. Ces derniers paramètres varient à l'échelle de dizaines de milliers d'années en raison de perturbations gravitationnelles exercées par la Lune et les autres planètes **(Puget et al, 2010)**.

- La déforestation est responsable d'un quart du phénomène des changements climatiques. En effet, les zones forestières stockent beaucoup de carbone tant au-dessus du sol qu'en Dessous, Une fois coupés, les arbres larguent le CO<sub>2</sub> accumulé pendant des siècles. De plus, moins il y a d'arbres, moins il y a de CO<sub>2</sub> absorbé pour la photosynthèse... Ce sont Surtout les forêts primaires des zones tropicales qui connaissent la déforestation (agriculture bois de chauffage, meuble, gain de surface...). Selon la FAO, environ 13 millions d'hectares de forêts disparaissent annuellement sur Terre, **(Saidi, 2011)**.

« La déforestation est responsable d'environ 25% du phénomène des changements Climatiques »

### ***3. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique :***

Selon les travaux des **GIEC** et des autres études (**Houghton et al. 2001**), la température de l'air et des océans est le premier paramètre qui, soumis à l'impact du changement climatique, va influencer sur le cycle de l'eau en modifiant les conditions d'alimentation du réservoir atmosphérique (taux d'évaporation, degré d'humidité de l'air).

Ces modifications vont, dans un second temps, impacter la pluviométrie, avec, pour conséquence, des modifications spatiales et temporelles des régimes de précipitations qui caractérisent aujourd'hui notre territoire. Une fois précipitée au sol, l'eau est soumise au phénomène d'évapotranspiration, qui, lui-aussi, sera impacté par les modifications climatiques prévisibles (notamment la température de l'air). Cela va engendrer une modification sur la pluie efficace, la quantité de ruissellement et la quantité d'eau infiltré. (**Jean-Marc, WATELET, 2010**).

### ***4. Impact du changement climatique sur les eaux de surface ;***

Plusieurs études indiquent que l'écoulement de surface a augmenté à l'échelle globale au cours du 20ème siècle (**Labat et al. 2004 ; Milly et al. 2005**). Cette évolution masque toutefois des tendances régionales opposées : les débits des fleuves ont augmenté de manière importante en Europe du Nord et au nord-ouest de l'Amérique du Nord tandis qu'ils ont eu tendance à diminuer en Europe du Sud et en Afrique subsaharienne. (**Franck, Lespinas, 2008**)

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique évalué à 30% (50% durant l'année 2001- 2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau. Par conséquence La contribution du ruissellement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants, (**Kadi A; 1997**).

### ***5. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines :***

Le rapport du **GIEC (2008)** sur le changement climatique et l'eau aborde sommairement le cas des eaux souterraines. Il constate ainsi que le niveau de nombreux aquifères dans le monde tend à diminuer ces dernières années mais que cela est souvent lié à leur surexploitation ainsi qu'aux prélèvements dans les cours d'eau qui leur sont associés. Le rapport **GIEC** mentionne également que, du fait du manque de données et de la forte inertie des aquifères, aucune modification sensible de la recharge des nappes liée au climat n'a encore été observée. Cependant, le **GIEC** insiste sur le fait que très peu de recherches ont été menées sur l'incidence du changement climatique sur les eaux souterraines. (**Bates, B. et al ,2008**).

En Algérie, la diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays.

L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales. Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones. **(Bates, B.et al ,2008)**. Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ordres et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba. **(ANONYME, 2009)** menées sur l'incidence du changement climatique sur les eaux souterraines. **(Bates, B.et al, 2008)**.

**IV. Les Méthodes Utilisées :**

Les précipitations constituent la variable climatique la plus anciennement utilisée et la plus couramment enregistrée. Pour ces raisons, elles sont précieuses indicateurs pour étudier l'évolution du climat donc Le but principal de cette partie est de définir les méthodes et les outils qui vont être utilisés pour montrer l'existence d'une variation du régime pluviométrique au niveau de l'Algérie.

**1. données utilisées :**

Nous avons pris en compte pour reconstruire la distribution spatiale des précipitations les valeurs mensuelles mesurées au niveau des 37 stations pluviométriques en Algérie. Ces données ont été téléchargées à partir du site internet, il s'agit des données très souvent destinées à un usage scientifique ou autre, souvent ayant servi pour les études menées par le GIEC (IPCC). Ces données proviennent essentiellement des réseaux de transmission de l'OMM (message Synop..).

Ce site comprend plusieurs données climatiques (précipitations, température, etc.....) pour plus de 114 stations climatiques. Seules 37 stations proposent des données sans lacunes d'une durée supérieure à 30 années. Celles-ci offrent l'avantage d'avoir une répartition plus ou moins homogène pour couvrir l'ensemble du territoire Algérien, ainsi une période commune significative allant de 1985-2018 a été choisie pour cette étude (voir **Tableau 2**).



<i>Station</i>	<i>Latitude (°)</i>	<i>Longitude (°)</i>	<i>Altitude (m)</i>
<i>AIN-SEFRA</i>	32.76	-0.6	1059
<i>ALGER-PORT</i>	36.76	3.1	12
<i>ANNABA</i>	36.83	7.81	4
<i>BATNA</i>	35.75	6.31	826
<i>BECHAR</i>	31.5	-2.25	816
<i>BEJAI-AEROPORT</i>	36.71	5.06	3
<i>BENI-ABBES</i>	30.13	-2.16	505
<i>BENI-SAF</i>	35.30	-1.35	70
<i>BISKRA</i>	34.8	5.73	89
<i>BOU-SAADA</i>	35.33	4.2	461
<i>CONSTANTINE</i>	36.28	6.61	694
<i>DAR-EL-BEIDA</i>	36.68	3.21	29
<i>B.B.ARAIRIDJ</i>	36.07	4.77	930
<i>DJELFA</i>	34.33	3.38	1185
<i>EL-BAYADH</i>	33.66	1	1347
<i>EL-GOLEA</i>	30.56	2.86	403
<i>EL-OUED</i>	33.5	-6.78	69
<i>GHARDAIA</i>	32.4	3.8	469
<i>HASSI-MESSAOUD</i>	31.66	6.15	144
<i>ILLIZI</i>	26.5	8.41	544
<i>JIJEL</i>	36.8	5.88	10
<i>MECHRIA</i>	34.93	-0.43	1150
<i>MAGHNA</i>	34.81	-1.78	426
<i>MILIANA</i>	36.3	2.23	721
<i>MSILA</i>	35.66	4.5	422
<i>ORAN-SENIA</i>	35.63	-0.6	91
<i>IN SALEH</i>	27.2	2.47	269
<i>IN AMENAS</i>	28.05	9.63	562
<i>SETIF</i>	36.18	5.25	1040
<i>SKIKDA</i>	36.88	6.9	3
<i>TAMANRASSET</i>	22.8	5.43	1364
<i>TEBESSA</i>	35.41	8.11	823
<i>TIARET</i>	35.35	1.46	978
<i>TIMIMOUN</i>	29.25	0.2	317
<i>TLEMCEN-ZEN</i>	35.01	-1.46	247
<i>TOUGGOURT</i>	33.11	6.13	92

**Tableau2:** coordonnées des stations pluviométriques utilisées (Source L'ONM)

### 1.1 Étude d'homogénéité des séries

Une série est dite homogène si les observations qui la composent ont été observées de la même façon et sont issues de la même population. Pour les statisticiens, la série de données est dite homogène si les propriétés statistiques de l'erreur de mesure affectant ces données sont restées invariables au cours de la période d'observation. D'une façon générale les éléments climatiques dans le temps ne se produisent pas de la même façon et la série correspondante n'est pas purement stationnaire. Les causes perturbatrices les plus courantes de l'homogénéité des observations sont :

- Le mauvais état ou la défectuosité d'appareils de mesures.
- Un changement d'observateur.
- Le déplacement de la station (différences topographiques).
- Le changement de type d'appareils, de leurs conditions d'installations (hauteur au-dessus sol).

Parmi les nombreuses méthodes permettant de vérifier l'homogénéité d'une série de données, nous utiliserons la méthode Teste de Pettit.

#### ➤ *Teste de Pettit :*

Le test de Pettit est un test non paramétrique. Il dérive du test de Man-Wihtney, il a été décrit par plusieurs auteurs (Pettit, 1979; Lubes et al., 1994; Lubes-Niels et al., 1998). Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Il se propose de tester l'hypothèse  $H_0$  « Absence de rupture dans la série  $(X_i)$  de taille  $N$  » face à l'hypothèse alternative  $H_a$  « Présence d'une rupture dans la séquence ».

Le série étudiée est divisée en 2 échantillons respectivement de taille  $m$  et  $n$ . Les valeurs des 2 échantillons sont regroupés et classés par ordre croissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous échantillon dans l'échantillon total. Une étude statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous échantillons à la même population.

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

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

$$D_{ij} = \text{sgn}(X_i - X_j), \text{ avec } \begin{cases} \text{sgn}(X) = 1 \text{ si } X > 0 \\ \text{sgn}(X) = 0 \text{ si } X = 0 \\ \text{sgn}(X) = -1 \text{ si } X < 0 \end{cases}$$

**2. Variation spatiale :**

**2.1. Régionalisation des précipitations par L'Analyse en Composantes Principales (ACP) :**

**a. Définition :**

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode d'analyse multidimensionnelle, qui consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées") en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc "non corrélées"). Elle permet d'extraire le maximum d'information sous une forme simple et cohérente à partir d'un ensemble très important de données, et elle sert à mettre en évidence les interrelations entre les variables et les ressemblances et oppositions entre les unités géographiques analysées. Cette technique s'applique principalement aux tableaux de mesure c'est à dire à un ensemble de variables quantitatives hétérogènes ou non. Ces données sont représentées généralement par des variables centrées réduites pour trouver un cadre de compatibilité commun.

**b. Objectif et but de l'analyse en composantes principales (ACP) :**

- Avoir une image ou une représentation des n points de l'espace à p dimensions dans un espace plus familier (1D, 2D ou 3D) avec une perte minimale d'informations.
- Pouvoir discerner les sous-groupes.
- Pouvoir mettre en évidence les valeurs extrêmes.
- Eliminer la redondance de l'information par la construction de nouvelles variables. Conserver l'information initiale.

**c. Principe de calcul :**

On part d'un tableau de données rectangulaire représentant toutes les données, en plaçant en ligne les individus et en colonne les variables. Soit X le tableau de données :

$$X = \begin{matrix} & & \text{Variables} & & \\ & & 1 \dots P & & \\ \text{X= individus} & \dots & \left( \begin{matrix} X^1_1 & \dots & X^1_p \\ \dots & \dots & \dots \\ X^n_1 & \dots & X^n_p \end{matrix} \right) & & \end{matrix}$$

Les variables seront les stations et les individus les années. Par la suite, on considérera le tableau X comme un tableau de variables centrées. On obtient ainsi un tableau X' avec de nouvelles variables de moyenne nulle. On détermine la matrice des variances-covariances de la variable centrée réduite qui est dans notre cas la matrice de corrélation.

- A partir de la matrice V on calcule les valeurs et vecteurs propres.

- Le calcul des valeurs propres consiste à résoudre l'équation suivante :  $|V - \lambda I|=0$

$\lambda$  =Valeurs propres  
 $I$ = matrice unité

Pour trouver les vecteurs propres de la matrice V il suffit d'injecter les valeurs propres ( $\lambda_i$ ) dans l'équation suivante :  $|V - \lambda_i I|U_i=0$

$U_i$ : Vecteur propre qui correspondra à  $\lambda_i$

On obtient la matrice des vecteurs propres suivant :

$$C = \begin{pmatrix} U_{11} \dots \dots \dots U_{1P} \\ U_{21} \dots \dots \dots U_{2P} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ U_{N1} \dots \dots \dots U_{NP} \end{pmatrix}$$

Cette matrice sert à déterminer les composantes principales. Pour les déterminer, il suffit Utiliser la matrice des vecteurs propres, et on cherchera une transformation linéaire de la matrice  $X'$  en fonction de nouvelles variables Z tel que :  $Z=C'* X'$

$$C' = \frac{c}{\sqrt{\lambda_i}}$$

Z: Matrice des composantes principales

Ensuite on calcule la matrice de saturation qui consiste à calculer les corrélations entre les variables initiales et les composantes principales.

$$R = Z * X'$$

**d. Critères du choix du nombre de composantes à retenir :**

On fait généralement appel aux critères suivants purement empiriques :

- S'arrêter dès que la proposition expliquée de la variance atteint une proportion fixée, Par exemple (le critère de Jollife).
- Ne garder que les valeurs propres  $\lambda_1 \dots \dots \dots, \lambda_k$  supérieures à la moyenne  $\frac{1}{p} = (\lambda_1 + \dots \dots \dots + \lambda_p)$  critère de kaiser. Si on travaille sur la matrice des corrélations, cela revient à exclure des valeurs propres inférieures à 1.
- Faire un sacré graph consistant à représenter les  $\lambda_i$  en fonction de  $i$ , souvent un coude apparait marquant un changement de régime dans la décroissance des

valeurs propres. Ne garder alors que les valeurs propres observées avant l'apparition du coude (critère de Cattell).

- D'autres critères du choix du nombre de composantes à retenir existent et peuvent être liés au problème posé. C'est le cas de notre étude où le choix est dicté par la détermination d'ensembles régionaux.

### ***e. Interprétation :***

Dans l'interprétation des résultats des composantes principales, on s'intéresse à la matrice dite de saturation qui nous donne les corrélations entre des composantes principales (facteurs) et les variables initiales. Ces valeurs représentent l'information la plus importante à prendre en considération. On les interprète dans un espace bidimensionnel dont les deux axes constitués sont les deux composantes principales choisies (facteurs).

### ***f. ACP sans rotation :***

Le maximum d'information se trouve dans la première composante. Cette dernière décrit un effet de masse. La majorité des stations ont tendance à décrire un ensemble commun. Par contre les autres composantes qui suivent ont tendance à différencier les plus lointaines et celles qui sont moins informatives.

### ***g. ACP avec rotation :***

Il existe plusieurs types de rotations : varimax, quartimax, etc.... Nous utiliserons la rotation de type varimax, c'est la méthode la plus utilisée des rotations orthogonales. On obtient une meilleure représentation de la variable s'exprimant sous forme d'opposition régionale. Elle permet d'améliorer l'interprétation des résultats par une transformation linéaire des composantes principales, et permet de maximiser les informations à l'aide des coefficients de saturation et aussi de mieux différencier les régions par groupes de stations. Cette rotation donne une image de la réalité dont on aurait supprimé le bruit. Les saturations étant équivalentes aux coefficients de corrélation, c'est de leur examen que va dépendre l'interprétation des facteurs.

## ***2.2 Détermination d'ensembles régionaux par le coefficient de variation :***

Le *coefficient de variation* (CV) peut être également considéré pour la détermination d'ensembles régionaux c'est dans ce sens les CV été calculés pour toutes les stations, d'où :

D'où

$$CV = \sigma / X_{moy}$$

CV : coefficient de variation

$\sigma$  : Ecart type

$X_{moy}$  : moyenne

### **3. Variation Temporelle :**

#### **3.1. Moyenne de valeurs centrées réduites de chaque région :**

Cette valeur moyenne calculée pour chaque ensemble régional.

D'où

$$Z_i = X_i - X_{moy} / \sigma$$

$X_i$  : variable

$\sigma$  : Ecart type

$X_{moy}$  : moyenne

#### **3.2 Tendance temporelle :**

Ce travail s'appuie sur le traçage de la courbe des pluies moyennes interannuelles en fonction des années ; y après on opte pour l'ajustement d'une courbe de tendance linéaire ;  $y = ax + b$

Pour avoir une idée sur le changement climatique :

- Si  $a > 0$  : tendance vers humidité.
- Si  $a < 0$  : tendance vers aridité (sécheresse).
- Si  $a \sim 0$  : pas de tendance.

### **4. Indices utilisés pour le suivi de la sécheresse**

#### **4.1. Définition de la sécheresse**

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).

Dans le glossaire météorologique (1959) on trouve la définition suivante de la sécheresse météorologique : « une sécheresse est une période prolongée de temps anormalement sec, à cause d'un manque d'eau et qui cause un déséquilibre hydrologique suffisamment sérieux dans la région affecté ».

Mokssit (1996) a définie la sécheresse hydrologique par un affaiblissement prolongé des apports pluviométriques au niveau des bassins versants. Un déficit d'écoulement en résulte systématiquement au niveau des cours d'eau. La recharge des nappes souterraines est réduite et les opérations d'irrigation sont compromises.

#### 4.2. L'indice de précipitations standardisé (SPI)

L'indice standardisé des précipitations (SPI, Standardized precipitation index) mis au point par **McKee et al. (1993)** est, aussi, 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 de permettre des évaluations de la sécheresse à court, moyen, et long terme.

Le **SPI** 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.
- Les résultats sont cohérents dans l'espace en raison des caractéristiques de la loi normale sur laquelle il est basé.
- 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) (**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 de l'année 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 :

D'où :

$$\text{SPI} = (P_i - P_m) / \sigma$$

**P<sub>i</sub>** : précipitation de l'année i  
**P<sub>m</sub>** : précipitation moyenne  
**σ** : l'écart type

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 suivant :

Valeur de SPI	classe
Plus de 2.0	extrêmement humide
1.5 à 1.99	sévèrement humide
1.0 à 1.	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 (McKee et al 1993)

### 4.3. La concentration mensuelle de la pluie:

La variabilité et l'agressivité de la pluviométrie au cours de l'année hydrologique sont appréciées respectivement par l'Indice de Concentration des Précipitations, **PCI** introduit par

Oliver et l'Indice de Fournier Modifié, **IFM**, proposé par Fournier et modifié par **Arnoldus**.

Ils s'écrivent :

$$PCI = 100 \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{mi})^2}{[\sum_{i=1}^{12} (p_{mi})]^2}$$

$$IFM = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{mi})^2}{P_a}$$

**P<sub>mi</sub>** et **P<sub>a</sub>** désignent respectivement la hauteur mensuelle du mois *i* et la hauteur annuelle de la

L'année considérée.

<b>PCI</b>	<b>Concentration</b>
<b>8.3-10</b>	Uniforme
<b>10-15</b>	Modérément saisonnière
<b>15-20</b>	Saisonnière
<b>20-50</b>	Fortement saisonnière
<b>50-100</b>	Irrégulière

Tableau 4 : Echelle d'appréciation de la concentration des pluies selon l'indice PCI (Précipitation Concentration Index).



<b>IFM</b>	<b>Concentration</b>
<b>0-60</b>	Très faible
<b>60-90</b>	Faible
<b>90-120</b>	Modérée
<b>120-160</b>	Forte
<b>&gt;160</b>	Très forte

**Tableau 5** : Echelle d'appréciation de l'agressivité des pluies selon l'indice IFM (Indice de Fournier Modifié).

**Conclusion :**

L'étude du cycle de l'eau et du climat est donc primordiale à la fois sur le plan Scientifique et sur le plan sociétal. Le cycle de l'eau est un processus clé dont dépend le fonctionnement d'autres paramètres. Par exemple, il faut bien comprendre le cycle de l'eau avant d'entamer l'étude de la variation des précipitations à l'échelle spatiale et temporelle.

Le pluviomètre ou le réseau de pluviométrie reste aujourd'hui le moyen le plus répandu pour la mesure des précipitations en hydrologie.

Le changement climatique est l'un des défis les plus complexes de notre jeune siècle, Aucun pays n'est à l'abri de ses effets et aucun pays ne peut, seul, faire face aux profondes transformations technologiques et autres enjeux indissociables et lourds de conséquences à l'échelle de la planète.

Les Méthodes et les outils statistiques utilisées pour l'étude de la variation des Précipitations à fin de montrer l'existence du changement climatique au niveau de la l'Algérie.

Les analyses statistiques ont été menées avec le logiciel R .Afin de mettre en évidence l'évolution et les fluctuations temporelles des précipitations d'où les résultats ont montré une irrégularité dans la distribution des pluies du Nord au Sud et d'Ouest en Est,

L'influence de l'altitude sur la distribution géographique des précipitations est variée. Il y a une hausse des précipitations en fonction de l'altitude dans les stations exposées aux flux pluvieux, avec une variation du gradient de l'Ouest vers l'Est. Quoiqu'il en soit, l'altitude n'est pas toujours le facteur le plus important dans la distribution géographique des précipitations. D'autres facteurs tels que la distance de la station par rapport au sommet, la position du relief par rapport à la mer, la morphologie de l'orographie jouent aussi un rôle important.

nous avons aussi opté pour calculer et suivre l'évolution des indices climatiques pour la détection de sécheresse. Ces derniers sont une combinaison d'au moins deux variables décrivant l'état de l'atmosphère pour caractériser le climat d'un lieu. Parmi ces indices, nous avons choisis l'indice de concentration des précipitations (*PCI*) du degré de concentration de précipitation tout au long de l'année et (*IFM*) l'indice de Fournier modifié Pour évaluer l'agressivité de la pluie, l'indice de précipitations standardisé (*SPI*). Ce dernier a pour but de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité.

**I. Introduction**

Dans le chapitre précédent, nous avons défini les méthodes et les outils employés pour atteindre à l’objectif de l’existence d’un véritable changement dans le régime pluviométrique en l’Algérie.

Dans ce chapitre, nous allons montrer les résultats obtenus on utilise ces méthodes et outils et interprétation des résultats.

L’indice pluviométrique standardisé a montré que les décennies 80 et 90 étaient les plus déficitaires, La régionalisation des précipitations par l’analyse en composantes principales a mis en évidence quatre régions homogènes. Ce découpage spatial montre aussi la vulnérabilité de chaque région au changement climatique.

**II. La détection des ruptures dans les séries des précipitations :**

**1.les résultats de Test de Pettit pour l’étude d’homogénéité :**

La méthode a donné les résultats suivants pour la station de Dar el Beida :

Test de Pettitt (SUM) :	
K	124.000
t	2002
p-value (bilatérale)	0.123
alpha	0.05

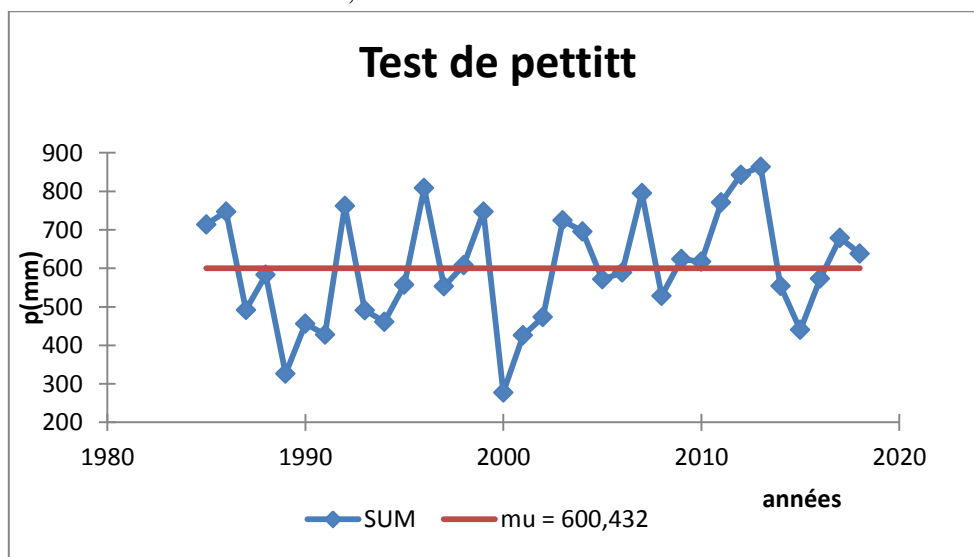
Interprétation du test :

**H0** : Les données sont homogènes

**Ha** : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données.

Etant donné que la p-value calculée est supérieure au niveau de signification seuil  $\alpha=0,05$ , on ne peut pas rejeter l'hypothèse nulle H0.

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est de 12,34%.



**Figure 13 :** Graphe du test de pettitt pour les résultats d’homogénéité

**III. Variation spatiale : le Zonage pluviométrique**

**1. les Résultats de la régionalisation des précipitations par l’Analyse en Composante principale (ACP) :**

**a. Analyse des Corrélations entre les stations :**

Avant de faire la régionalisation on s'est d'abord intéressé à l'analyse des corrélations entre des différents Stations. Cette analyse montre que les stations les plus proches sont les mieux corrélées, toute fois on remarque certaines particularités. Prenons à titre d'exemple la station de Oran. La station de Oran située au nord-ouest de l'Algérie est bien corrélée avec les stations qui lui sont proche: Tlemcen (0.304), Mascara (0.301), Bni saf (0.351), Tiaret (0.357), Chlef (0.339), El bayadh (0.344). Pour le tableau de corrélation voire l'annexe .

**b. Régionalisation des précipitations par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) :**

Tout d'abord la régionalisation a été faite sur l'Algérie, sur l'ensemble des stations considéré. Pour un premier aperçu le choix s'est porte sur nus facteurs. On remarque au premier coup d'œil qu'à partir du cinquième facteur les saturations deviennent de plus en plus faibles et le pourcentage de la variance expliquée par ce facteur est généralement faible. Ensuite, un deuxième aperçu mais cette fois ci avec quatre facteurs et tous les facteurs présentent des saturations qui permettent la détermination d'ensembles régionaux distincts . L'ACP est calculée à partir d'une matrice de dispersion qui est dans notre cas la matrice de corrélation. Sont prises en compte que les saturations supérieures à 0,5. Le pourcentage total de la variance expliquée est de 68.68% répartis comme suit:

STATION	F1(25,55 %)	STATION	F2(16,32 %)	STATION	F3(13,18 %)	STATION	F4(13,63 %)
ANNABA	0.685	TIARET	0.626	BATNA	0.826	ADRAR	0.620
BEJAIA	0.602	BNI SAF	0.511	B.B.ARAIRIDJ	0.814	AIN SEFRA	0.678
CONSTANTINE	0.630	MASCARA	0.683	BOUSSADA	0.784	BECHAR	0.533
DAR ELBAIDA	0.684	CHLEF	0.536	DJELFA	0.805	BNI ABBES	0.546
JIJEL	0.694	TELMCENZ	0.528	MECHRIA	0.780	BISKRA	0.612
MILIANA	0.610	ORAN.S	0.569	MSILA	0.748	EL GOLEA	0.649
SETIF	0.644	EL BAIADH	0.533	TAMMENRAS ET	0.523	EL OUED	0.689
SKIKDA	0.691	EL GOLEA	0.520			GHARDAIA	0.630
TEBESSA	0.610					H.MESSAOUD	0.611
TIARET	0.563					ILLIZI	0.675
TIMIMOUN	0.678					IN AMENAS	0.547
EL OUED	0.541					IN SALEH	0.578
						TAMMENRAS ET	0.634
						TIMMIMOUN	0.678
						TOUGGROUT	0.672

**Tableau6** :Saturations supérieurs à 0.5 obtenus par l'ACP

On remarque que l'ACP a défini quatre ensemble régionaux distincts, toutefois en constate certaines particularités telle que TAMMENRASET qui est une station de sud mais qui se retrouve parmi les stations des hauts plateaux avec une corrélation de 0.523 mais avec une forte corrélation en sud (0.634) et la même remarque pour les stations (TIMIMOUN, EL OUED, EL GOLEA, TIARET). Dans ce sens nous allons analyser les résultats dans le tableau suivant :

STATION	F1(25,55%)	STATION	F2(16,32%)	STATION	F3(13,18%)	STATION	F4(13,63%)
ANNABA	0.685	TIARET	0.626	BATNA	0.826	ADRAR	0.620
BEJAIA	0.602	BNI SAF	0.511	B.B.ARAIRIDJ	0.814	AIN SEFRA	0.678
CONSTANTINE	0.630	MASCARA	0.683	BOUSSADA	0.784	BECHAR	0.533
DAR ELBAIDA	0.684	CHLEF	0.536	DJELFA	0.805	BNI ABBES	0.546
JIJEL	0.694	TELMCEN.Z	0.528	MECHRIA	0.780	BISKRA	0.612
MILIANA	0.610	ORAN.S	0.569	MSILA	0.748	EL GOLEA	0.649
SETIF	0.644	EL BAIADH	0.533			EL OUED	0.689
SKIKDA	0.691					GHARDAIA	0.630
TEBESSA	0.610					H.MESSAOUD	0.611
						ILLIZI	0.675
						IN AMENAS	0.547
						IN SALEH	0.578
						TAMMENRASET	0.634
						TIMMIMOUN	0.678
						TOUGGROUT	0.672

**Tableau7** : Saturations supérieurs à 0.5 obtenus par l'ACP

**2. les quatre régions qui ont le même caractère pluvieux déterminés par le coefficient de variation :**

Le tableau (7) présente les Coefficient de Variation (CV) des quatre régions défini par l'ACP.

On distingue très nettement les stations du sud aux stations du nord, pour les stations du sud le cv peut atteindre jusqu'à 100% (IN AMENAS). Pour la partie nord, identifiée dans le tableau nous donnons les coefficients de variation des différentes régions. Le cv peut aller du simple au double.

Pour la région1 le CV moyen est de 0.27, toute fois les CV les plus faibles concerne généralement les stations côtières. Pour la région2 le CV moyen est de (0.50), mais la station d'El bayadh présente un CV anormalement élevé (0.73). Les régions3 et 4 ont des cv assez semblables, la détermination d'ensembles régionaux à partir du cv devient plus délicate. En général le CV augmente avec l'aridité du lieu.

- **Région 1** : elle est formée par le littorale Nord-Est du pays, (Annaba, Bejaia , Constantine,Alger,Jijel,Miliana,Skikda,Tebessa).
- **Région2** : elle est formée par le littorale Nord-Ouest et une partie des hauts plateaux. (Oran,Benisaf,Mascara,Tiaret,Chlef,Telemcen,Elbaidh).
- **Région3** : elle est formée par : Batna,Boussada, Djelfa,B.B.Mokhtar,Mechria, Msila.
- **Région 4** : elle est formée par les stations du sud, Bechar, IN Amenas, Timmimoun ,Ain Safra,Adrrar,Bni Abbes,Biskra,Hassi Messoud, Illizi, Ghardaia ,In Saleh,Tammenraset,Tougourt.



	Stations	Moy.P	Ecart-type	CV	Moy.CV
REGION 1	ANNAA	638.4	133.3	0.21	
	BEJAIA	763.2	182.8	0.24	
	CONSTANTINE	481.2	113.2	0.24	
	DAR ELBAIDA	600.8	149.1	0.25	
	JIJEL	966.5	184.2	0.19	<b>0.27</b>
	MILIANA	722.9	213.1	0.29	
	SETIF	416.8	155.6	0.37	
	SIKIKDA	669.1	131.9	0.20	
	TEBESSA	411.9	196.3	0.48	
REGION 2	TIARET	414.4	211.9	0.51	
	BNI SAF	363.6	142.0	0.39	
	MASCARA	341.9	154.7	0.45	
	CHLEF	419.8	254.1	0.61	<b>0.50</b>
	TELMCEN ZENATA	335.2	96.8	0.29	
	ORAN SENIA	375.5	192.7	0.51	
	EL BAIADH	314.8	228.9	0.73	
REGION 3	BATNA	330.8	236.8	0.72	
	B.B.ARAIRIDJ	279.8	160.0	0.57	
	BOUSSADA	230.0	199.2	0.87	
	DJELFA	323.8	198.7	0.61	<b>0.72</b>
	MECHRIA	305.2	260.3	0.85	
	MSILA	209.8	151.9	0.72	
REGION 4	ADRAR	33.9	15.3	0.45	
	AIN SEFRA	166.9	78.9	0.47	
	BECHAR	116.7	89.8	0.77	
	BNI ABBES	46.3	30.2	0.65	
	BISKRA	147.8	92.4	0.63	
	EL GOLEA	74.8	60.2	0.80	
	EL OUED	74.5	67.2	0.90	
	GHARDAIA	74.3	42.8	0.58	<b>0.69</b>
	HASSI MESSAOUD	53.8	40.3	0.75	
	ILLIZI	19.9	15.4	0.77	
	IN AMENAS	32.6	29.3	0.90	
	IN SALEH	57.5	20.3	0.35	
	TAMMENRASET	75.3	50.3	0.67	
	TIMMIMOUN	29.4	25.5	0.87	
TOUGGROUT	72.2	51.9	0.72		

Tableau 8 : Coefficient de variation des quatre régions définies par l'ACP.

IV. Variation Temporelle des précipitations :

1. La distribution annuelle irrégulière des précipitations sur la période 1985/2018 :

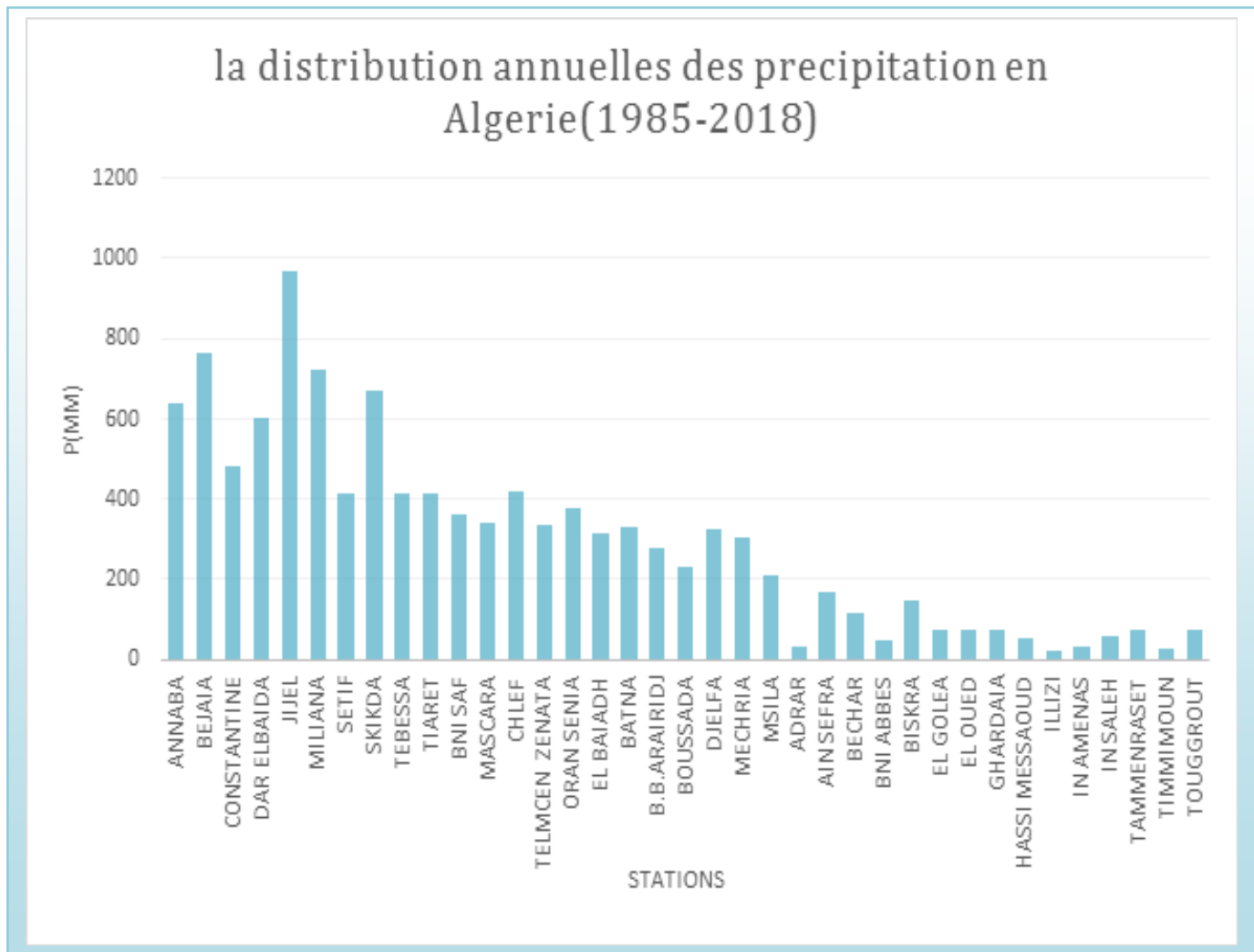


Figure14 : la distribution annuelle des précipitations sur la période 1985/2018 pour les stations choisies

Aux variations spatiales des précipitations annuelles s'ajoutent des variations temporelles.

L'analyse de cette dernière passe par la détermination d'une série de pluies moyennes spatiale. Par plusieurs auteurs. Cette détermination est très importante car la pluie est l'un des processus hydrologiques les plus variables non seulement dans le temps mais aussi dans l'espace en fonction des paramètres régionaux et/ou locaux comme la vitesse du vent ou la topographie...etc.

A partir de ces figures (14), On remarque l'irrégularité de la distribution des pluies sur les 33ans étudiés pour chaque station. On observe aussi une alternance entre des périodes sèches et humides dans l'ensemble des stations. Les différences les plus marquées concernent ; la moyenne interannuelle qui est de l'ordre de 966.5 mm à Jijel et 19.9mm à Illizi, ainsi que le nombre des années sèches qui est plus grand au niveau de la région sud que celui de l'est et centre et Ouest du pays.

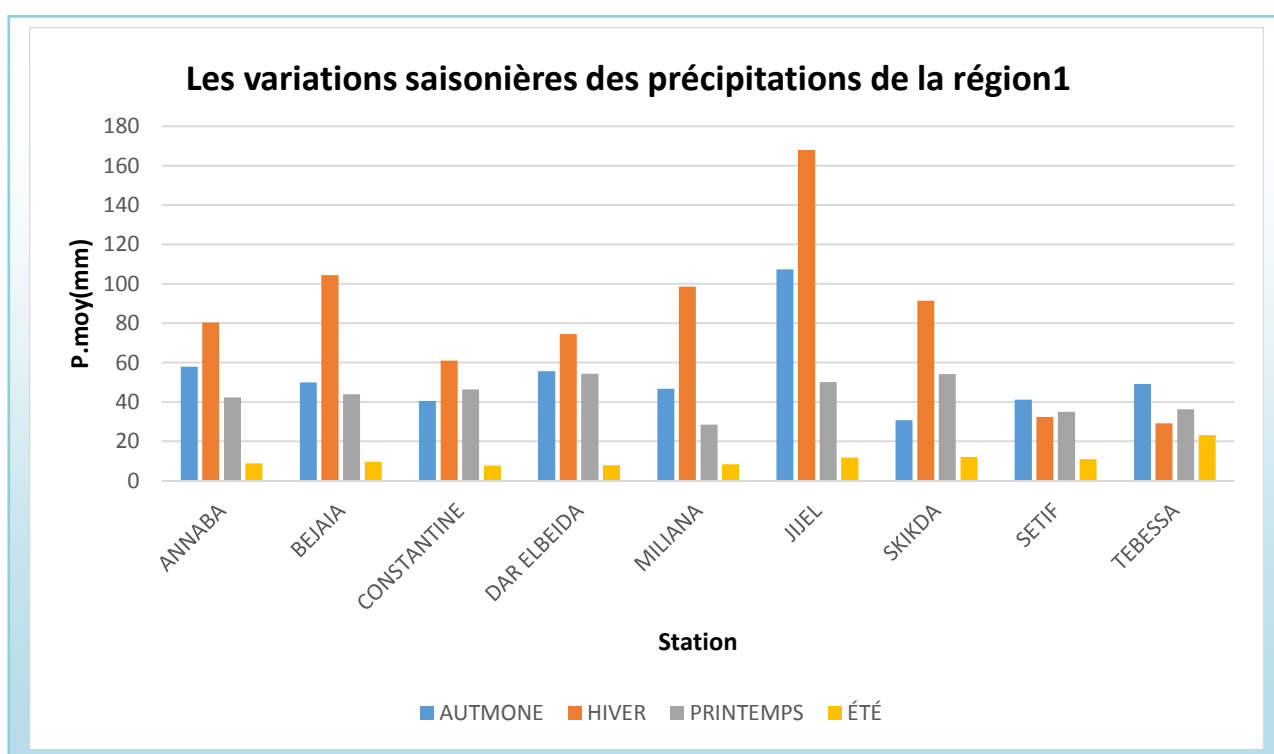
**2. La Variation saisonnière des précipitations par Région :**

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons, cela permet de mieux visualiser la chronologie des totaux de pluies saisonnières dans le temps.

Nous avons évalué la variabilité des précipitations saisonnières pour une durée s'étalant de 1985 à 2018 dans les stations disponibles.

On considère toujours que la région d'étude est formée des quatre régions déjà citées :

➤ **Région1 : Les précipitations saisonnières de la région Nord-Est**



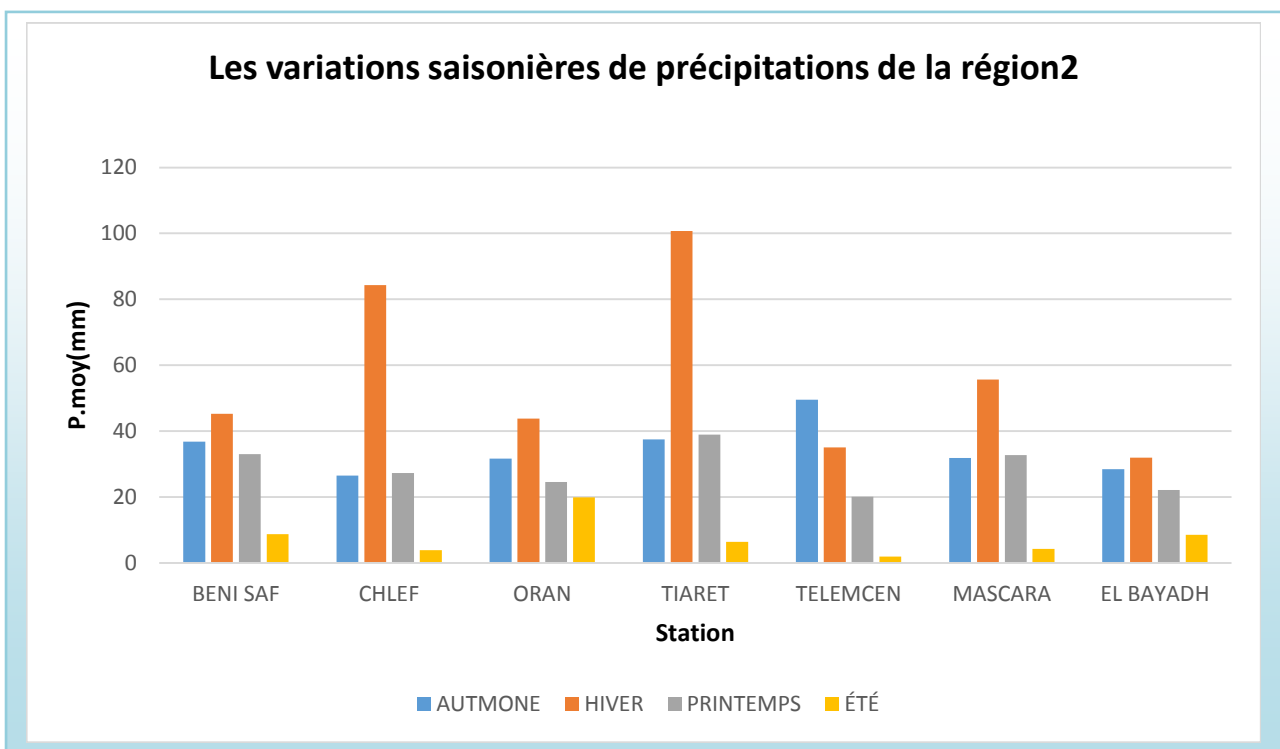
**Figure15 :** La distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région1

La variabilité des précipitations change sensiblement d'une station à l'autre, la figure (15) montre la variabilité saisonnière des précipitations. En effet, au cœur de la saison pluvieuse (hiver) formé des mois de décembre, janvier et février à climat méditerranéen, on remarque que presque toutes les stations connaissent un maximum hivernal. Ces stations sont positionnées à la façade de la mer. La valeur maximale des précipitations est obtenue par la station de Jijel, Bejaia, Miliana et Skikda sauf dans les deux stations de Sétif et Tébessa où la variabilité des précipitations est faible par ce qu'elles se trouvent dans la région intérieure d'Algérie.

En automne la variabilité des précipitations change mais on ne note pas une grande différence entre stations sauf pour Jijel elle présente le maximum de précipitation. Edem, pour la saison de printemps, on remarque une légère variation des précipitations entre les stations de la région1.

En été, les précipitations sont déficitaires. Ça veut dire que cette saison est sèche. Enfin, on remarque que les influences maritimes facilitent la formation de la pluie en hiver Principalement dans les régions littorales. On observe que les précipitations sont importantes en hiver, moyenne en l’automne et au printemps et minimale en été. Par exemple, la valeur maximale des précipitations est obtenue à la station de Jijel (pendant l’hiver), et la valeur minimale est obtenue à la station de dar El-Beida (pendant l’été).

➤ **Région2 : Les précipitations saisonnières de la région Nord-Ouest**



**Figure16 :** La distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région2

La figure(16) Montre que les précipitations de la région nord-ouest pour les quatre saisons de L’année, l’examen de cette figure, permet de constater qu’en hiver où il y a une moyenne Plus élevé de pluie dans la station de Tiaret et chlef et les stations qui restent ont des valeurs moyennes variant entre 20 et 60mm.

Le printemps c’est la saison qui a des précipitations moyenne pour toutes les stations de cette Zone 2 varie entre (20 et 40mm). À l’été, la moyenne est faible. Ça veut dire cette saison est sèche. On remarque que les précipitations est importante pour l’hiver et l’automne, moyenne pour le printemps et minimale pour l’été. La valeur maximale des précipitations est obtenue à la station de Tiaret (pendant l’hiver) et la valeur minimale est obtenue à la station de Tlemcen (pendant l’été).

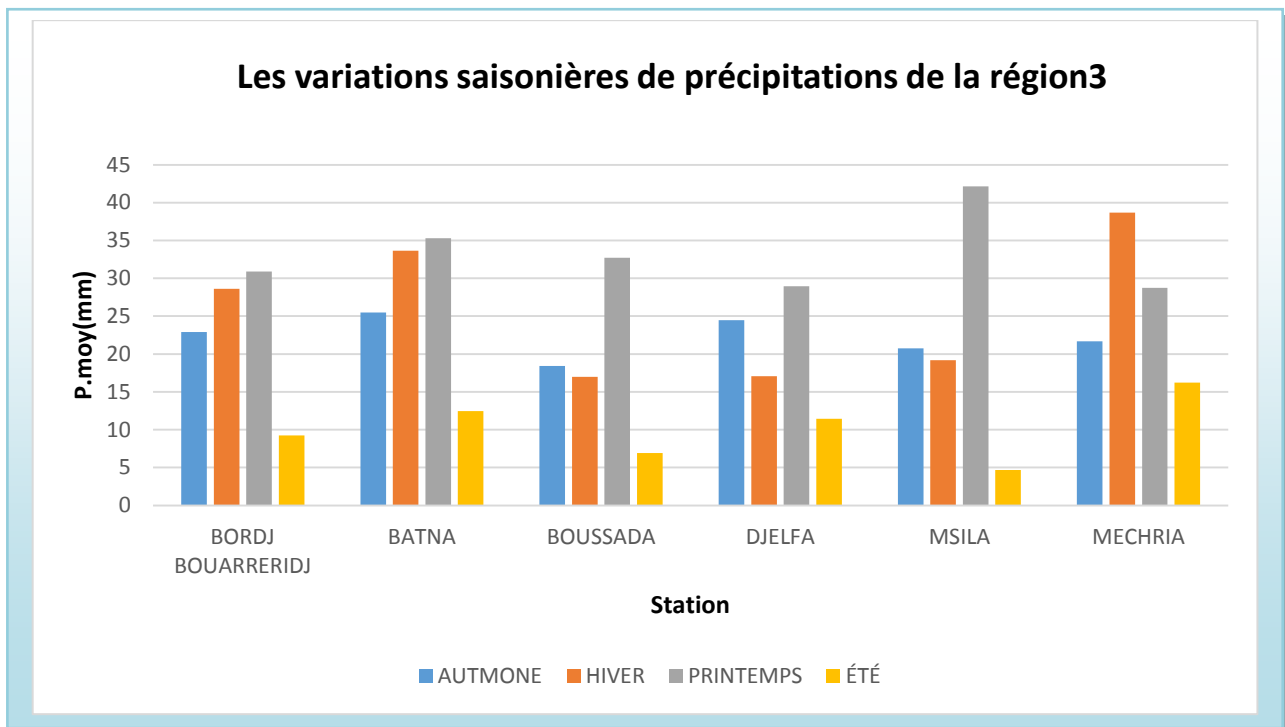
➤ **Région3 : Les précipitations saisonnières de la région des hauts plateaux**

La figure (17) Montre la variabilité saisonnière des précipitations dans la région 3 pour les quatre saisons de l’année. En Printemps, on remarque que la plupart des stations ont connu une pluviométrie assez forte, on citera par exemple les stations de Msila, Batna et Boussaâda.

Pour la saison hiver, et automne on note qu’il n’y a pas une différence dans la variation des précipitations modérée dans l’ensemble des stations à part la stations de Mechria qui a connu une précipitation assez modérée pour la saison d’hiver(>35mm).

Pour la saison estivale, on remarque que la plupart des stations ont une tendance vers les valeurs

Moyenne à part la station de Msila qui a des valeurs faible (<10mm).



**Figure17** :la distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région3

➤ *Région4: Les précipitations saisonnières de la région Sud*

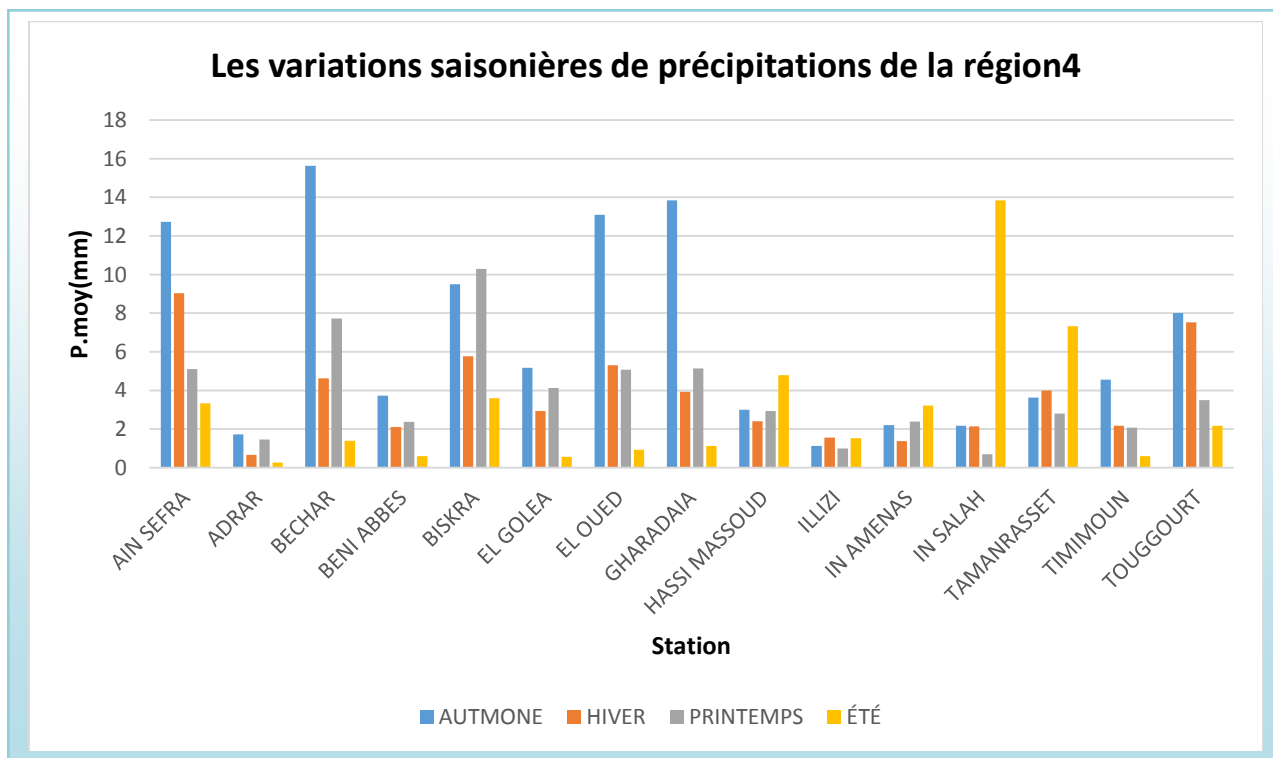


Figure18 : La distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région4

La figure (18) Montre la variation saisonnière de la région sud pour les quatre saisons de L'année. L'examen de cette figure, permet de constater qu'en automne où il y a une moyenne Plus élevé de pluie dans la station de Ain-Sefra, Bechar, El oued, Ghardaïa, Biskra et Touggourt les autres stations qui restent ont des valeurs moyenne a faible variant entre 2 et 6mm. Le printemps cette saison qui a des précipitations moyenne pour toutes les stations de cette région sud sauf pour la station de Biskra avec une moyenne >10mm). À l'été, la moyenne est faible, sauf pour la station de Ain Saleh avec une moyenne entre (12 a 14mm), et Tamanrasset entre 6 à 8mm.

**3. la variation mensuelle des précipitations par Région :**

L'analyse des précipitations mensuelles revêt une importance capitale dans la mesure où elle Permet de saisir l'évolution de la pluviométrie au cours de l'année. En effet, la connaissance du début et de la fin de la saison des pluies constitue un fait majeur.

Au cœur de la saison pluvieuse (hiver, l'automne) les mois les plus pluvieux sont octobre et Novembre et décembre. Une variabilité des précipitations plus faible est enregistrée en juin, juillet et aout, bien qu'elle soit légèrement supérieure à celle de l'automne. La répartition de la variabilité change sensiblement d'un mois à l'autre avec des oppositions entre les régions.

Après l'étude que nous avons faite sur la précipitation pour chaque saison, nous avons pensé à Analyser les précipitations pour chaque mois de l'année et pour toutes les régions.

➤ Région 1 : les précipitations mensuelles du Nord-Est

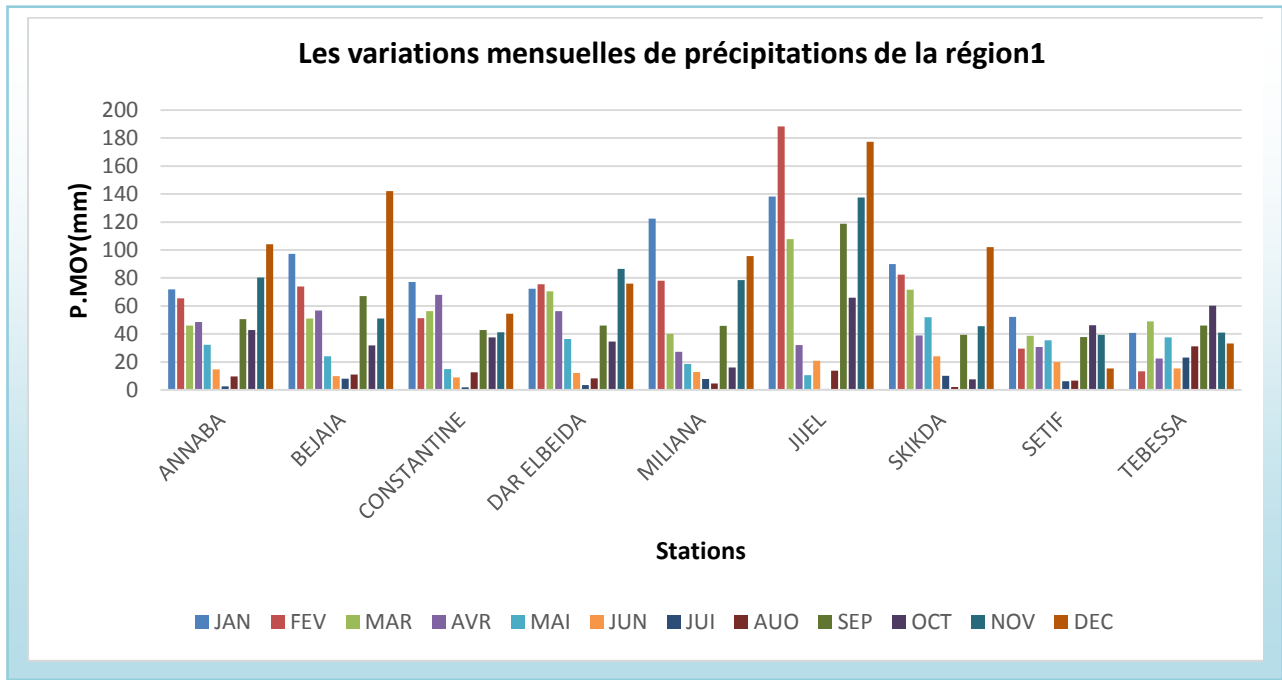


Figure 19 : La distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région1

La figure(19) Présente les variabilités mensuelles des précipitations pour la région méditerranéenne (nord-est). On remarque que les mois de novembre, décembre et janvier, février sont les mois les plus pluvieux pour la majorité des stations ce qui est logique car elle appartient à la saison hiver et automne par contre on note qu'il y a une faiblesse pluviométrique pour les autres mois des saisons printanière et estivale.

➤ Région 2 : les précipitations mensuelles du Nord-Ouest

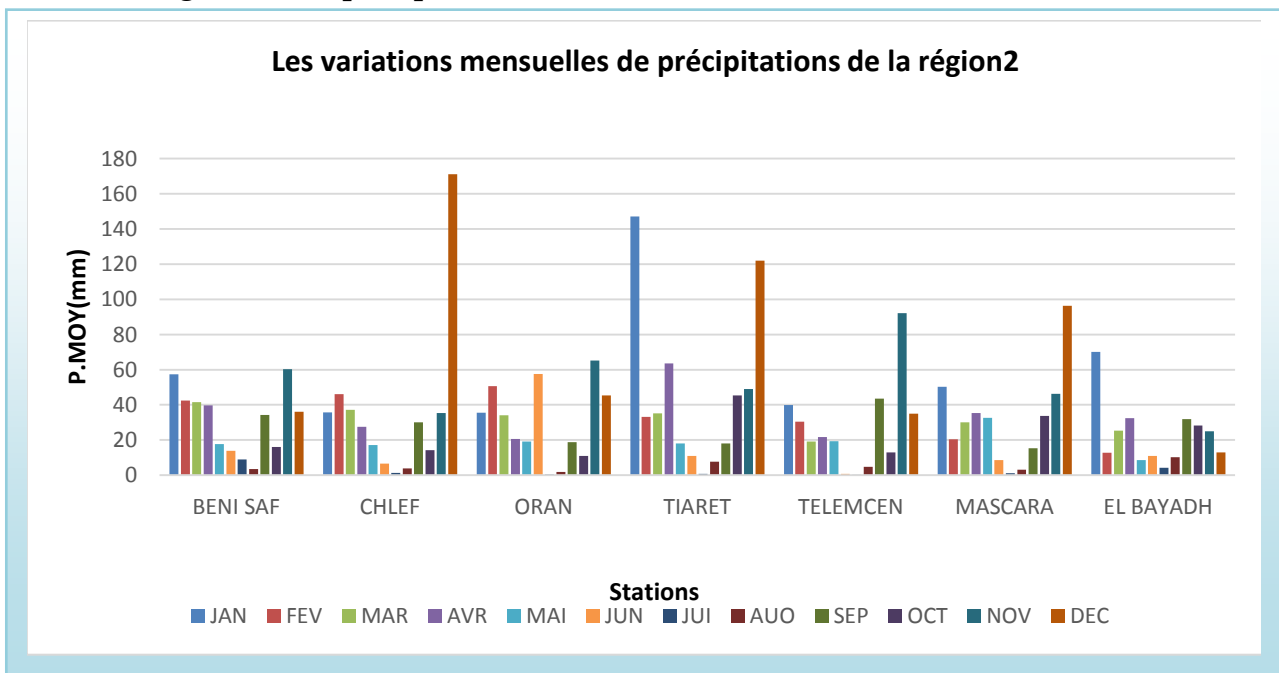


Figure 20 : la distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région2



La figure (20) présente la variabilité mensuelle des précipitations pour la région Nord-ouest. On remarque que la répartition de la pluviométrie pour tous les mois de l'année est équilibrée pour la plus part des stations à part Chlef, Tiaret, Mascara qui ont marqué une moyenne pluviométrique importante (80 à 170mm) pour le mois de décembre. et des moyennes (>140mm) à Tiaret et Bayadh (>60mm) pour le mois de janvier et la station de Tlemcen une moyenne (>80mm) pour le mois de novembre. la saison estivale qui a connu une pluviométrie faible pour l'ensemble des station de la région 2.

➤ *Région 3 : les précipitations mensuelles des hauts plateaux.*

On présente sur la figure (21) la variabilité mensuelle des précipitations pour la région 3 (haut plateaux). On remarque que la répartition de la pluviométrie pour tous les mois de l'année est moyenne à modéré (entre 10 à 40mm) pour la plus part des stations à part Mechria marque un maximum hivernal avec une moyenne pluviométrique importante (80mm) pour le mois de Janvier .et des moyennes (30 à 75mm) sur l'ensemble des stations pour le mois Avril, la saison estivale qui a connu une pluviométrie faible para port au autres saisons.

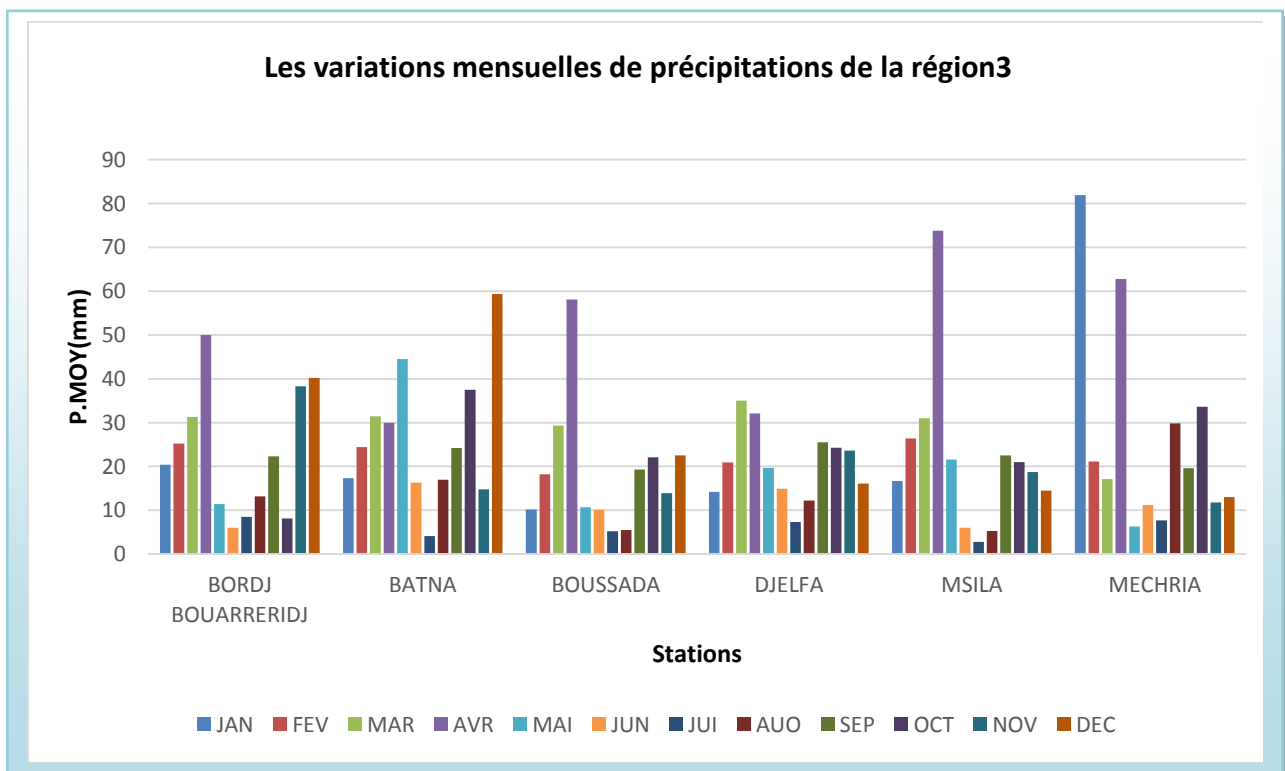


Figure21 :la distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région3

➤ Région 4 : les précipitations mensuelles du Sud.

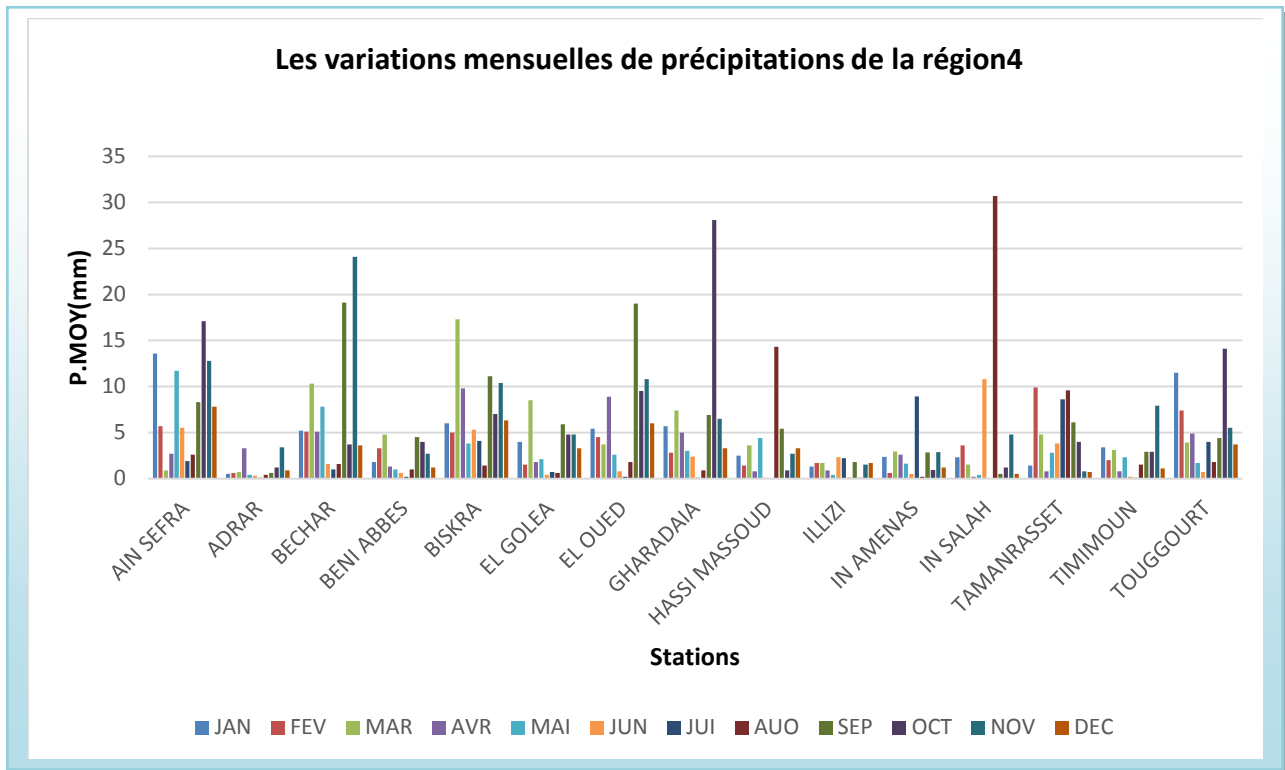


Figure 22 : La distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région4

La figure (22) présente les variabilités mensuelles des précipitations pour la région sud. On note que l'évolution du régime pluviométriques mensuelle de la région4 est très déséquilibré entre les saisons puisqu'il y a une variabilité mensuelle très importante, pour la station de Ain Saleh une moyenne pluviométrique de 30mm et 14mm à Hassi-Massoud pour le mois d'Aout et une moyenne de 24mm pour le mois de novembre marqué à la station de Bechar et une variation entre 14 à 28mm pour le mois d'octobre pour Ain-Sefra, Ghardaïa et Touggourt. et pour le mois de mars la moyenne entre (10à17mm) pour Bechar et Biskra.

4. la détection des périodes excédentaires et déficitaires pour chaque Région pour la période 1985/2018 :

➤ Région 1 : Successions des périodes sec et humide pour le Nord-Est

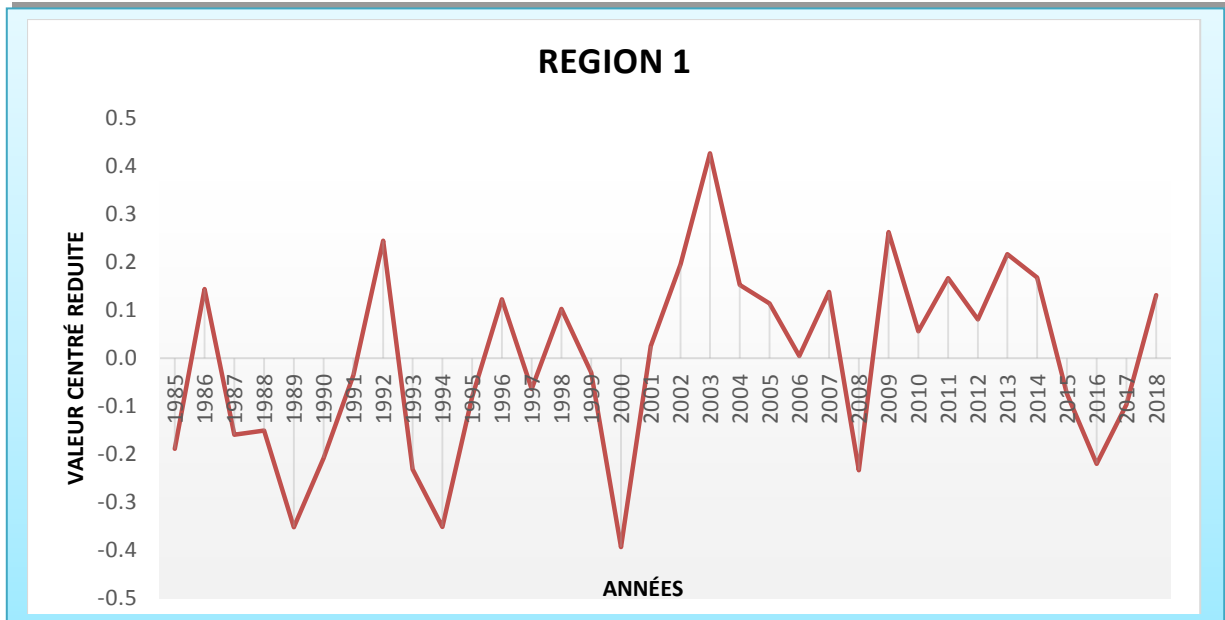


Figure 23 : Évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1985/2018) de la région1. Sur la Figure(23) on remarque les périodes déficitaires (1989,1994 ,2000,2008,2006) l’année la plus humide a été en 2003 et la plus déficitaire en 2000 .

➤ Région 2: Successions des périodes sec et humide pour le Nord-Est

On remarque sur la Figure(24) des périodes normales voir excédentaire entre 1985 à1987 et l’année 1999 et de 2001à2014. Elle est semblable a la région 1 l’année la plus humide a été en 2003,2017 et la plus déficitaire en 1986,2000 .

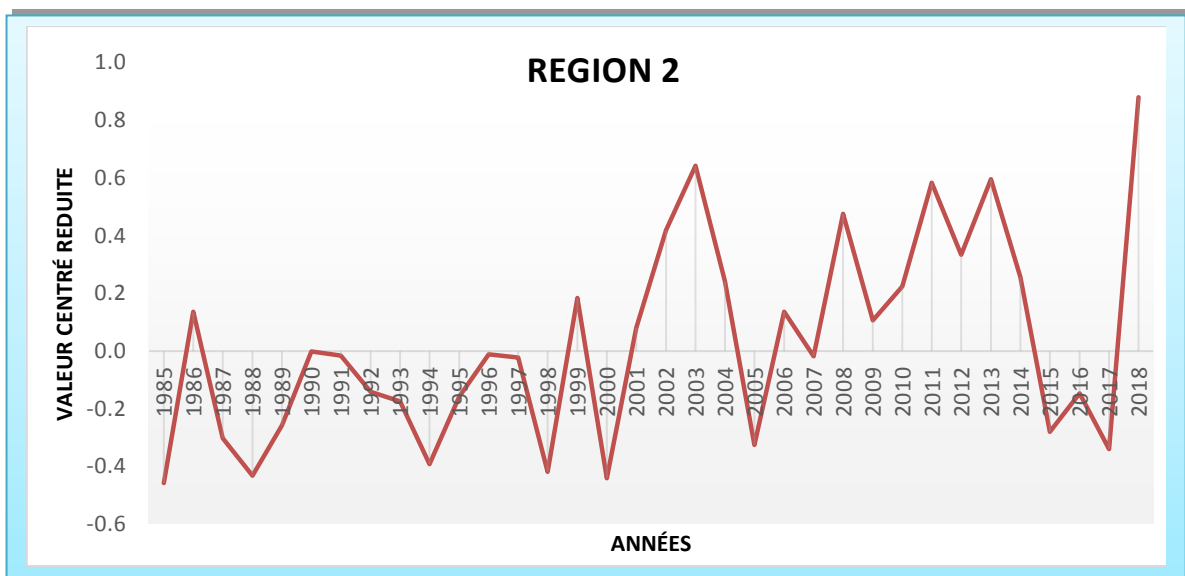


Figure 24 : Évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1985/2018) de la région2

- *Région3 : distribution normale avec une période excédentaire pour les hauts plateaux.*

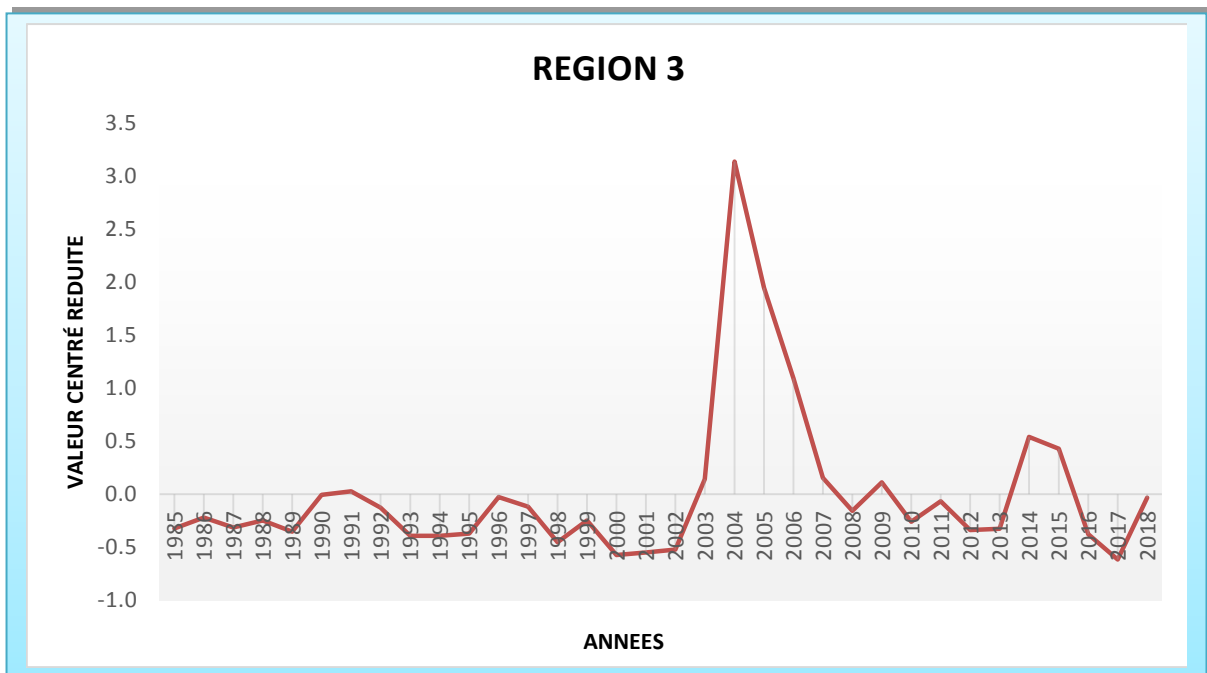


Figure25: évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1986/2018) de la région3

Cette Figure (25) montre qu'en moyenne la pluviométrie sur cette région a été plus tôt normale a déficitaire sur la période 1986/1989et de 1993 à 1995 la période 1999 à 2002 et 2017 et la période la plus excédentaire 2003 à 2010.

- *Région4 : distribution normale avec une période excédentaire pour le Sud.*

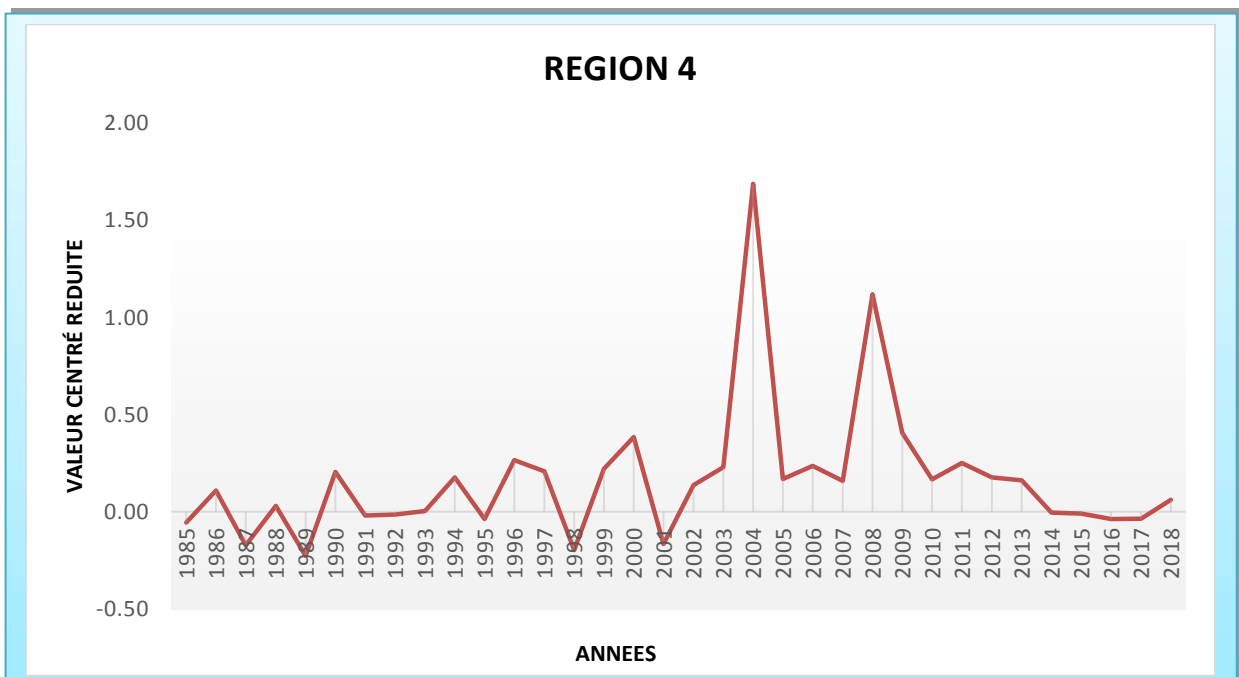


Figure 26 : Évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1986/2018) de la région4

On remarque sur la *Figure.26* que presque toute les périodes normales voir excédentaire, pour les années déficitaires on a 1989 et 1998 pour la région 4(Sud).

### **5. Tendance temporelle :**

Si  $a > 0$  : tendance vers humidité.

Si  $a < 0$  : tendance vers aridité (sécheresse).

Si  $a \sim 0$  : pas de tendance

Les coefficients négatifs indiquent un déficit qui varie d'une station à une autre car l'Algérie a connu une longue période de sécheresse qui a duré 10 ans (1982-1990). Les coefficients positifs donnent l'impression qu'il y a un certain changement climatique par rapport à la période précédente (tendance vers humidité).

<i>Stations</i>	<i>Coefficient</i>	<i>Déficit</i>	<i>Excédent</i>
<i>ADRAR</i>	-0,0255	<i>x</i>	
<i>AIN-SEFRA</i>	2,2563		<i>x</i>
<i>ANNABA</i>	-1,2666	<i>x</i>	
<i>BATNA</i>	2,8502		<i>x</i>
<i>BECHAR</i>	-1,3285	<i>x</i>	
<i>BEJAIA</i>	7,8564		<i>x</i>
<i>BENI-ABBES</i>	-1,2361	<i>x</i>	
<i>BENI-SAF</i>	6,5328		<i>x</i>
<i>BISKRA</i>	1,2895		<i>x</i>
<i>BORDJ-BOU-ARRERIDJ</i>	4,3254		<i>x</i>
<i>BOU-SAADA</i>	5,8562		<i>x</i>
<i>CHLEF</i>	4,8523		<i>x</i>
<i>CONSTANTINE</i>	-0,2531	<i>x</i>	
<i>DAR-EL-BEIDA</i>	-1,5623	<i>x</i>	
<i>DJELFA</i>	2,2356		<i>x</i>
<i>EL-BAYADH</i>	2,9972		<i>x</i>
<i>EL-GOLEA</i>	-1,3256	<i>x</i>	
<i>EL-OUED</i>	-2,2564	<i>x</i>	
<i>GHARDAIA</i>	-2,5623	<i>x</i>	
<i>HASSI-MESSAOUD</i>	-1,9853	<i>x</i>	
<i>ILLIZI</i>	-2,3564	<i>x</i>	
<i>IN-AMENAS</i>	-1,2354	<i>x</i>	
<i>IN-SALAH</i>	-1,8562	<i>x</i>	
<i>JIJEL-ACHOUAT</i>	15,238		<i>x</i>
<i>MASCARA-MATEMORE</i>	2,9865		<i>x</i>
<i>MECHERIA</i>	1,2564		<i>x</i>
<i>MILIANA</i>	8,2563		<i>x</i>
<i>M'SILA</i>	4,2653		<i>x</i>
<i>ORAN-SENIA</i>	3,1984		<i>x</i>
<i>SETIF</i>	3,6124		<i>x</i>
<i>SKIKDA</i>	-0,9847	<i>x</i>	
<i>TAMANRASSET</i>	-1,3241	<i>x</i>	
<i>TEBESSA</i>	3,5261		<i>x</i>
<i>TIARET</i>	7,2356		<i>x</i>
<i>TIMIMOUN</i>	0,1249		<i>x</i>
<i>TLEMCCEN-ZENATA</i>	1,7562		<i>x</i>
<i>TOUGGOURT</i>	-2,6532	<i>x</i>	

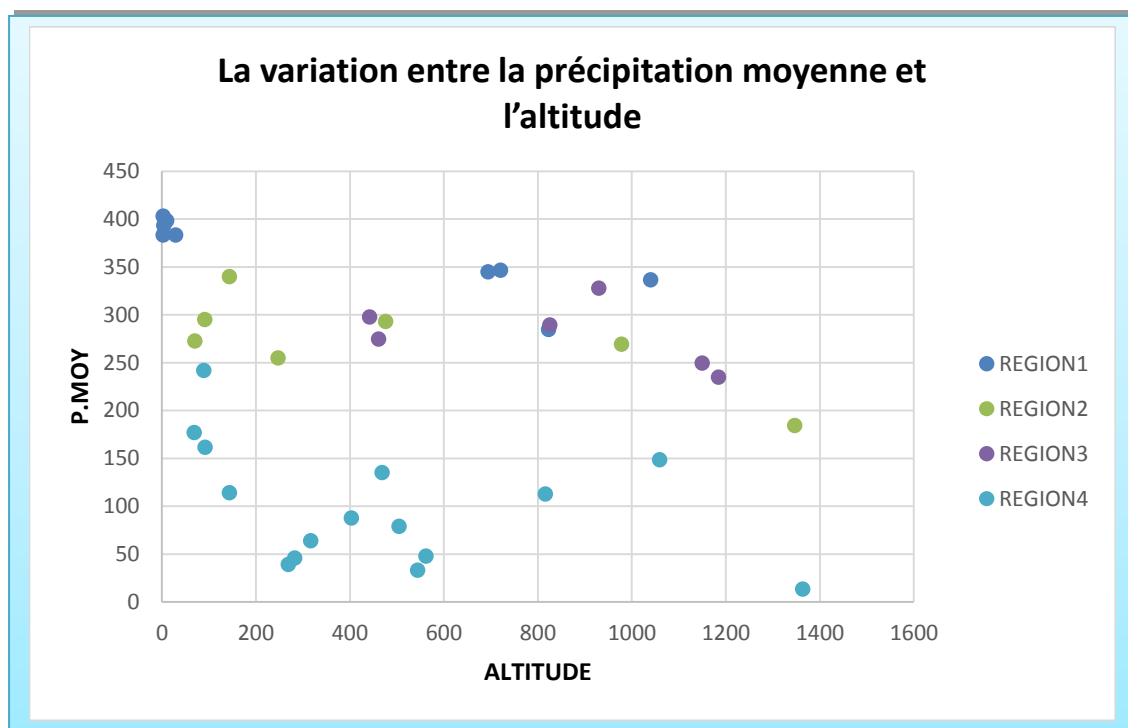
**Tableau 8 :** Coefficient de tendance temporelle pour chaque station, période 1985/2018



**V. La relation entre les précipitations moyenne et l'altitude :**

La variabilité spatiale des précipitations et leur distribution sur la surface est un phénomène très présent. L'hétérogénéité spatiale de la quantité de pluie dérive de la complexité de la topographie locale qui peut se présenter sous différentes formes. La relation entre précipitations et altitude est influencée par la topographie. La relation entre précipitations et altitude est donc très variée en Algérie.

Il existe une grande différence d'altitude dans les stations algériennes. La plus basse a une altitude de 3m (Skikda, Bejaia Aéroport) et la plus haute est de 1364 m (Tamanrasset) qui représentant dans le tableau (1). La précipitation est sous forme liquide ou solide varient en fonction de l'altitude et de la saison.



**Figure 27 :** La variation entre les précipitations moyenne et l'altitude, pour la période 1985/2018

La figure(27) Présente l'évolution des précipitations moyenne annuelle en fonction de l'altitude. On remarque pour la région1 qu'il a une forte pluviométrie malgré l'altitude faible des stations par exemple comparant les valeurs des stations (côtière) Skikda (3 m ,669.1mm) et Jijel (10 m, 966.5 mm) avec la station de Tébessa (823 m, 411 mm) qui se trouve éloigner de la mer.

La région2 (nord \_ouest) presque similaire avec la région 1 ont comparant la station d'Oran (91m,375mm) et Mascara(341.9mm).

Pour la région 3 on remarque l'altitude augmente, la variation de la pluviométrie reste toujours modérée à Batna (826 m, 330.8 mm) et Djelfa (1195 m ,323.8 mm).

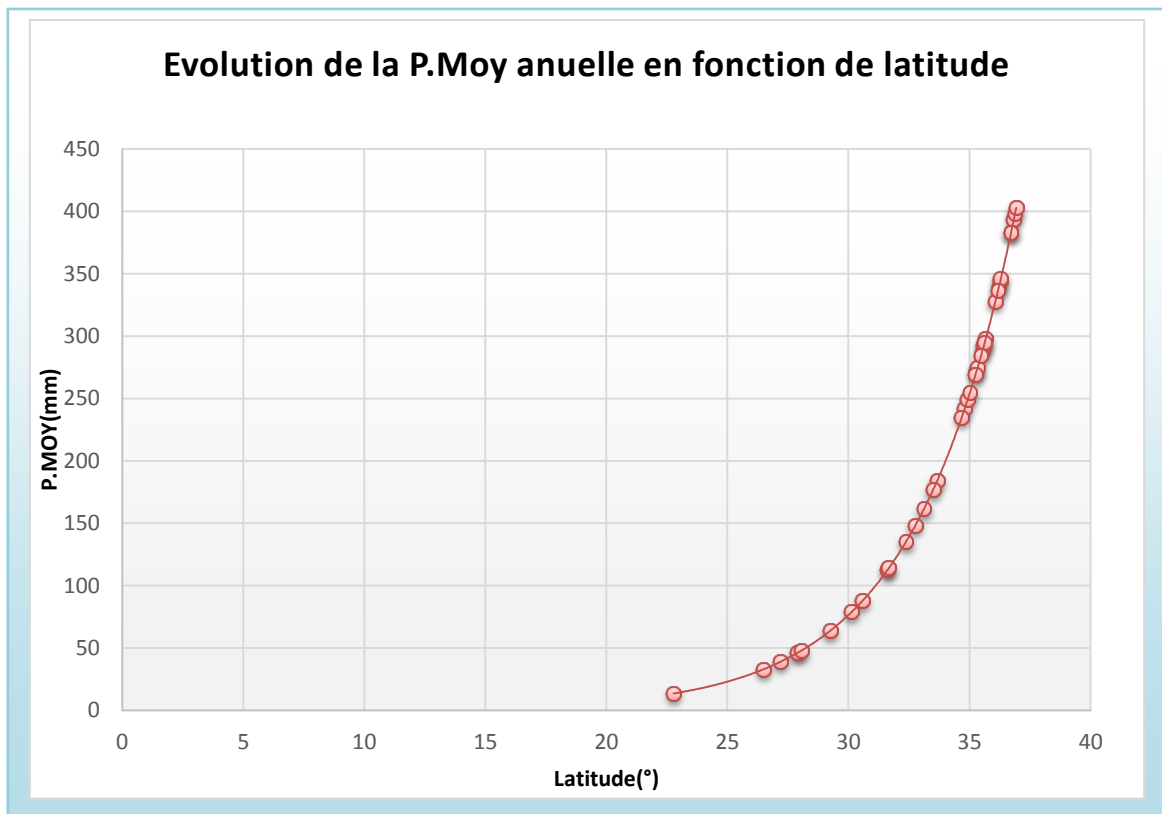
Pour la Région4, on remarque que l'altitude varie entre faible et forte, la pluviométrie reste toujours minimale El Oued (69mm ,74.5 mm) et Tamanrasset (1364 m,75.3 mm).

**VI. La relation entre les précipitations et la latitude :**

On note que la précipitation moyenne annuelle en fonction de la latitude suit la loi exponentielle :

$$P_{moy} = 0,057e^{0,24Lat}$$

On note qu'il y a une proportionnalité réciproque entre les deux paramètres. Mais dans la zone saharienne on remarque l'augmentation de pluie est faible par rapport à la latitude.



**Figure 28 :** Évolution des précipitations moyennes annuelles en fonction de la latitude Pour la période 1985/2018

VII. La concentration mensuelle des précipitations:

L'analyse du degré de concentration des précipitations tout au long de l'année est extrêmement Important pour son impact sur les phénomènes environnementaux tels que la répartition des Précipitations saisonnières, on a étudié l'indice de concentration de précipitation (**PCI**) pour évaluer le caractère saisonnier des précipitations dans la région d'étude pour la période 1985/2018 et les résultats sont sur la figure (29)

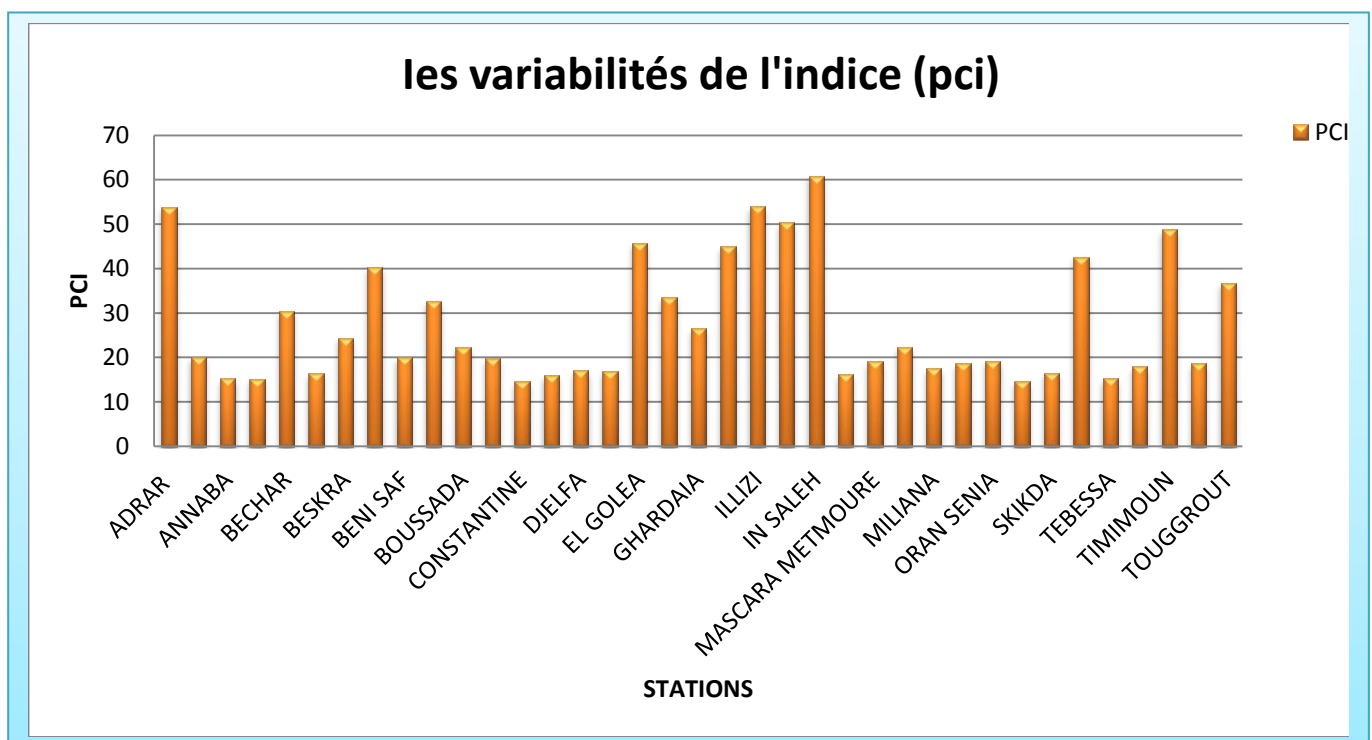


Figure 29 : Variation du PCI de toutes les stations étudiées, la période 1985/2018

Selon le tableau (2) qui présente les différentes classes de l'indice de concentration saisonnière. Les valeurs de PCI inférieur à 10 indiquent une distribution uniforme des précipitations mensuelles dans l'année, tandis que les valeurs de 10 à 20 présentent une saisonnalité dans la distribution des précipitations. La valeur supérieure à 20 correspond au climat avec une variabilité saisonnière importante des quantités de précipitations. Selon la figure.29 et la classification du tableau 3, on remarque que :

\*Les résultats du **PCI** montrent une répartition saisonnière des précipitations dans la région1 comme les stations (ANNABA, BEJAIA, DAR ELBAIDA, JIJEL, MILIANA, SKIKDA, TEBESSA) sauf les stations qui sont (CONSTANTINE, SETIF) présentent une répartition des précipitations mensuelles modérément saisonnière.

\* Tandis que la région 2 à climat continental Nord-Ouest aussi présente une distribution saisonnière dans les stations (*TIARET, MASCARA, CHLEF, TELMCEN ZENATA, ORAN SENIA, EL BAIADH*) et, et pour la station de (BNI SAF) montre une forte saisonnalité des précipitations mensuelles.

\*même remarque pour la région3 la distribution est toujours saisonnière dans les stations (BATNA, DJELFA, MSILA) a fortement saisonnière pour (B.B. ARAIRIDJ, BOUSSADA, MECHRIA).

\* La région 4 à climat sec (Sahara) montre une forte variabilité saisonnière des Précipitations mensuelle dans les stations suivantes (AIN SEFRA, BECHAR, BNI ABBES, BISKRA, EL GOLEA, EL OUED, GHARDAIA, HASSI MESSAOUD, ILLIZI, TAMMENRASET, TIMMIMOUN, TOUGGROUT sauf pour les stations (ADRAR, IN AMENAS, IN SALEH) présente une variabilité irrégulière des précipitations mensuelle.

VIII. Agressivité mensuelle des pluies:

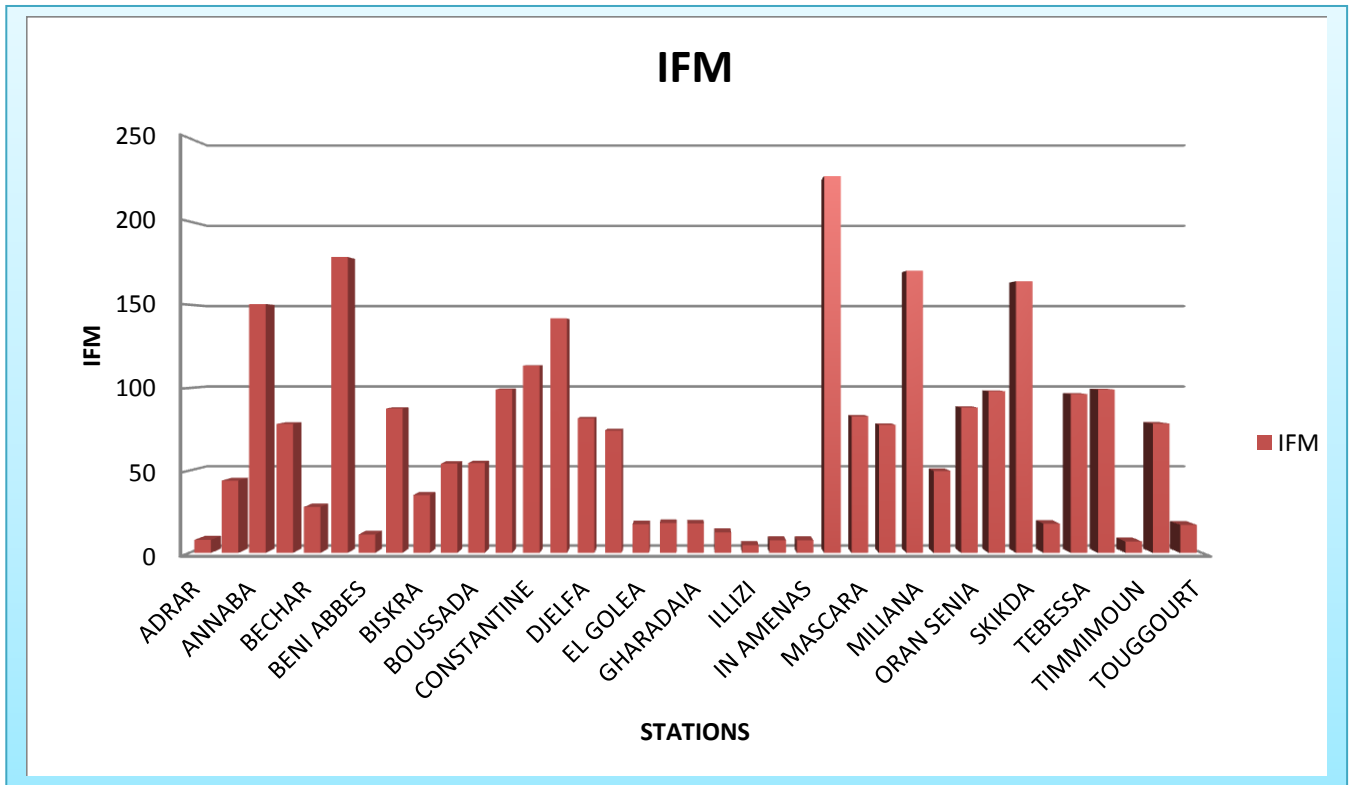


Figure.30. Variation du IFM Indice de l’agressivité des précipitations toutes les stations étudiées Pour la période 1985/2018

Pour La figure(29) et La figure(30) selon la classification ci-dessus on a remarqué que les résultats de (IFM) montrent 2 répartitions principales des stations de la Région 1 (Nord-Est). Une agressivité des précipitations forte pour (ANNABA, BEJAIA, DAR ELBAIDA, JIJEL, CONSTANTINE, MILIANA, SKIKDA) et une agressivité modérée pour (SETIF, TEBESSA).

On constate pour la Région2(Nord –Ouest), que la majorité des stations (MASCARA, TELMCEN ZENATA, ORAN SENIA, EL BAIADH) et, et pour les stations de (Tiaret, chlef) présentent une agressivité modérée.

La région 3(les hauts plateaux), une repartions des précipitations très faible pour les stations (B.B. ARAIRIDJ, BOUSSADA, MSILA), a une variation faible pour les stations (BATNA, DJELFA, MECHRIA)

Enfin pour la région3 (Sud) , on note que toutes les stations ((AIN SEFRA, BECHAR, BNI ABBES, BISKRA, EL GOLEA, EL OUED, GHARDAIA, HASSI MESSAOUD, ILLIZI, TAMMENRASET, TIMMIMOUN) montrent une agressivité très faible.

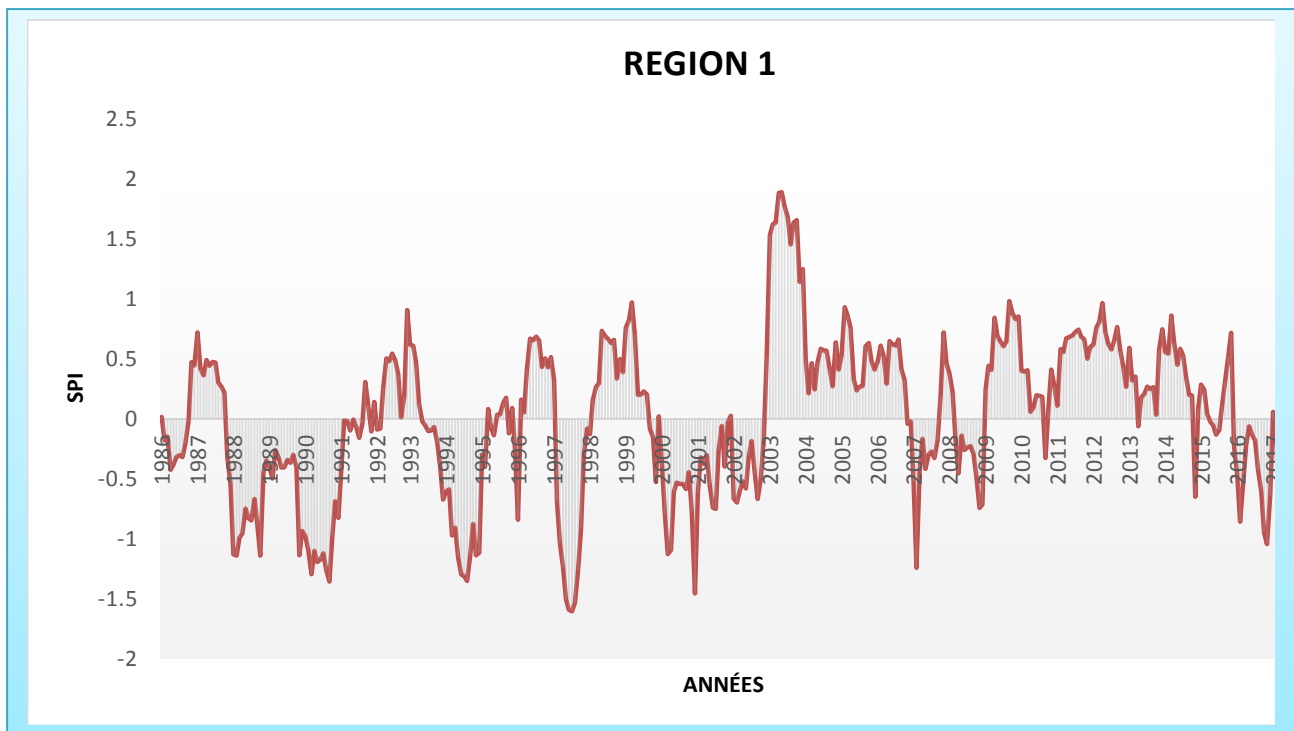
### IX. Détection de la Sécheresse avec l'Indice de Précipitations Standardisé :

L'indice **SPI** permet de classer les années sèches et humides ; dans notre travail l'utilisation du **SPI** a pour but principal la détermination des périodes sèches et humides pour quantifier la sévérité de la sécheresse. Par l'évolution de l'Indice pluviométrique standardisé pour chaque région.

Nous avons calculé le **SPI** annuel pour toutes les séries pluviométriques des stations. Les graphes suivant montrent l'évolution de ce dernier.

L'interprétation des graphes repose sur la classification des **SPI**. Un tableau Récapitulatif des résultats pour toutes les stations (Annexe). Les figures suivantes montrent la répartition chronologique des années humides, normales et sèches, qui détermine, en effet, le régime pluviométrique de chaque région.

#### Région 1 : Détection de la sécheresse au Nord-Est de l'Algérie



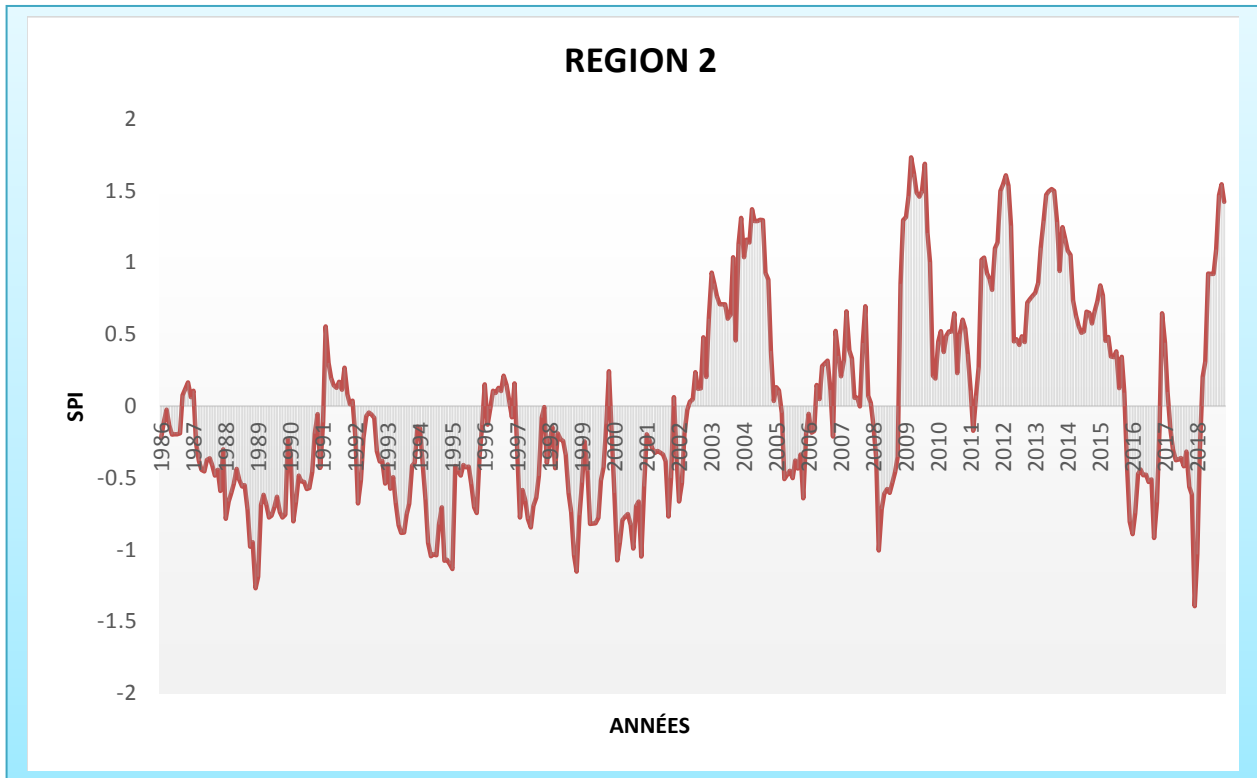
**Figure 31** : Evolution de l'indice pluviométrique pour la région 1, pour la période 1985/2018

Ce n'est que la répartition chronologique des années humides, normales et sèches, qui détermine, en effet, le régime pluviométrique de chaque station et de chaque région. D'après les graphes, *Figure 31* nous constatons que toutes les stations ont connu des périodes ou des années sèches et d'autre humide, mais à degrés de sévérités variables d'une station à l'autre.

On remarque une tendance près de la normale presque pour toute la région Nord-Est

Pour  $(-1 < SPI < 1)$  avec la présence des années modérément sèche  $(-1.5 < SPI < -1)$  telle que 1988, 1991, 1994, 1998, 2007 et la période très humide est enregistré pour 2003, 2004.

➤ **Région 2 : Détection de la sécheresse au Nord-Ouest de l’Algérie**



**Figure 32 :** Evolution de l’indice pluviométrique pour la Région2, pour la période 1985/2018

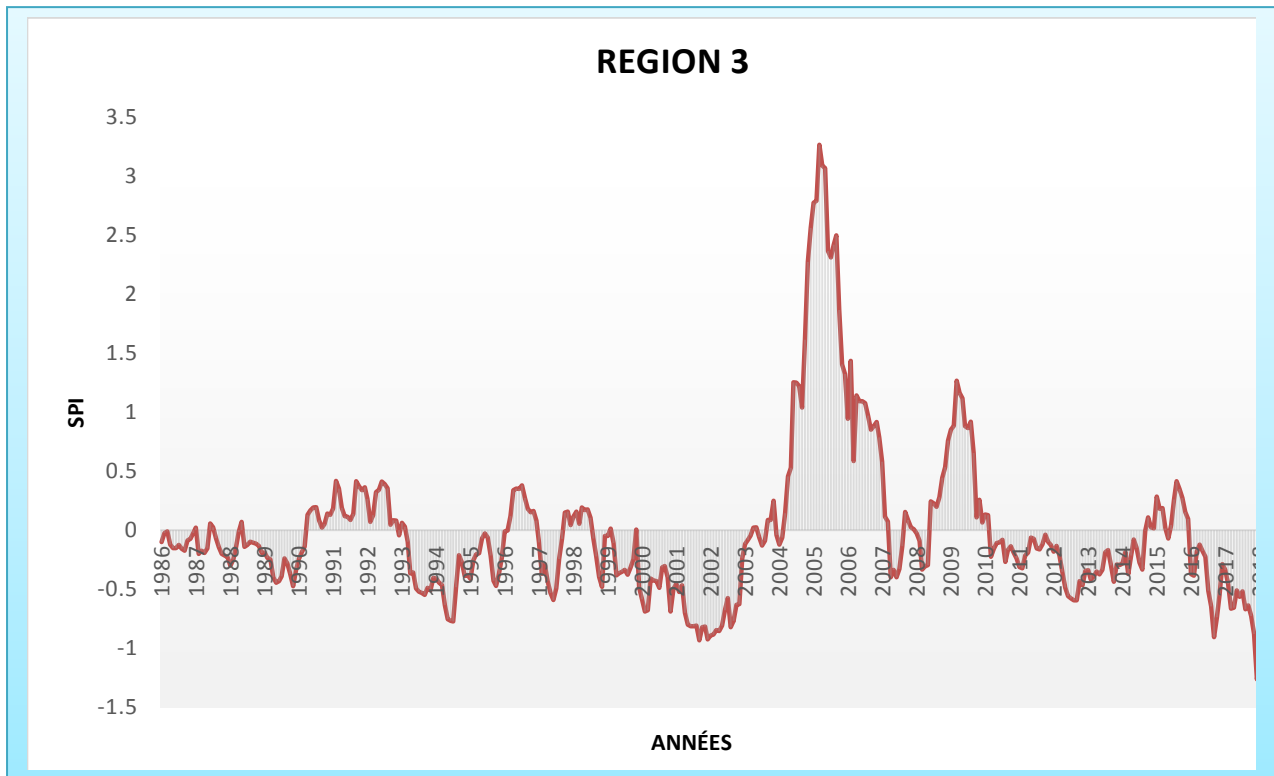
D’après les graphes de la *Figure (32)* nous remarquons une tendance à la baisse jusqu’à 2002 puis une tendance à la hausse.

La région nord-Ouest ne connaît pas de périodes longues de sécheresse ou d’humidité, de ce fait elle représente un régime pluviométrique régulier. Nous pouvons relever 4 années sèches

$(-1.5 < SPI < -1)$  de 1985, 1999, 2006, 2008 et 2016 dans toute la région et une période modérément humide de 2009 à 2015. Par exemple la station d’Oran a connu 2 années modérément sèche ; la première 1994 et la deuxième 1998.



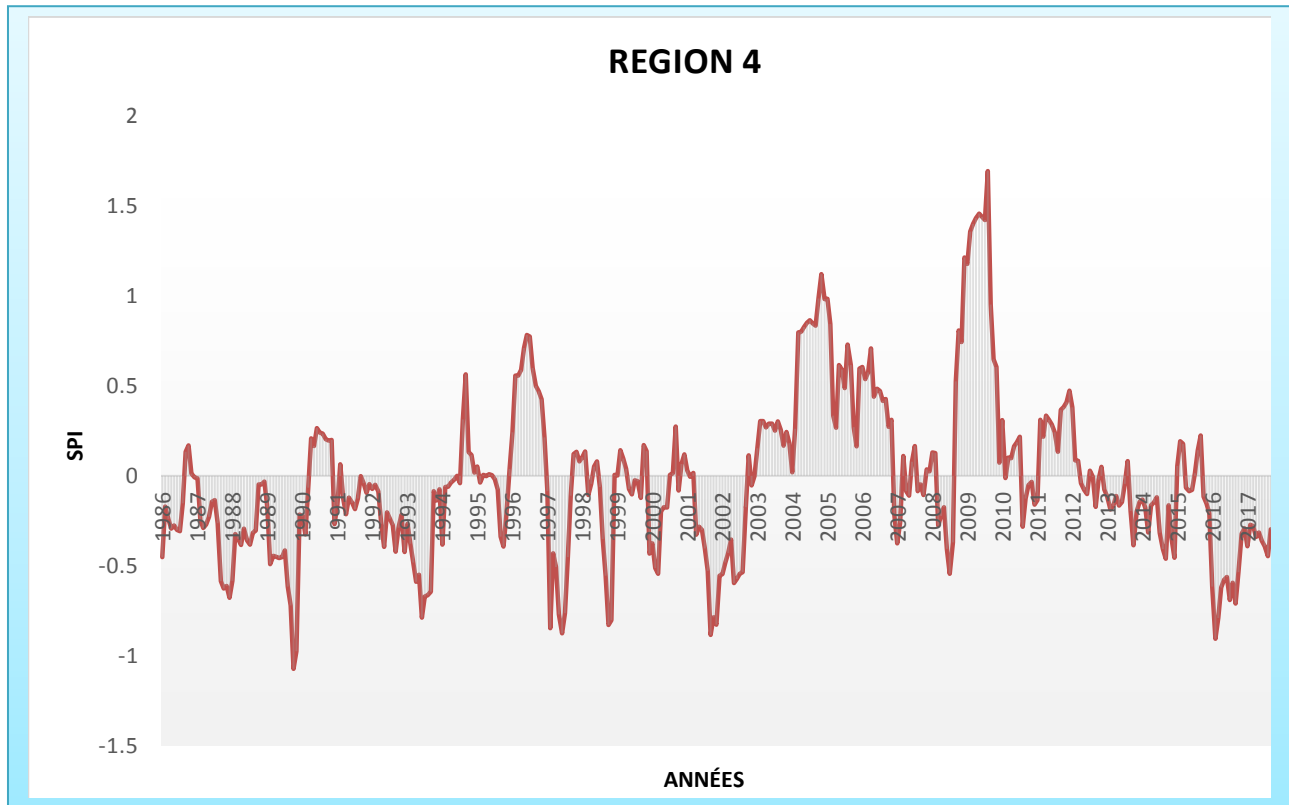
➤ **Région 3 : Détection de la sécheresse pour les hauts plateaux Algérienne.**



**Figure33** Evolution de l'indice pluviométrique pour la Région3, pour la période 1985/2018

On remarque sur la *Figure(33)* la variation du l'indice **SPI** régulière entre humide et sèche pour la région des hauts plateaux. Elle est proche de la normale jusqu'à 2004 puis une période varie entre modérément humide à extrêmement humide de 2004 à 2007 et l'année 2009 modérément humide ensuite elle se succède par une tendance à la baisse. La période l'extrêmement humide 2005,2006.

➤ **Région4** : la détection de la sécheresse dans le Sud Algérien.



**Figure 34:** Evolution de l'indice pluviométrique pour la Région4, pour la période 1985/2018

On remarque sur la *Figure(34)* pour la région sud une variation du **SPI** proche de la normale pour  $(-1 < \text{SPI} < 1)$ . On remarque que cette région a connue des années sèches plus que des années humides à cause de l'absence des précipitations, la figure montre une succession des années modérément sèches 1990, 1994, 1998, 1999, et 2002 .2016 les années humides sont : 1997, 2005, 2006,2010.

L'année 1997 qui est marqués comme années extrêmement humide pour la station de Hassi Messaoud avec  $(\text{SPI}=4)$  .

**Conclusion :**

Les résultats des analyses pluviométriques effectuées montrent que l'Algérie est passée par des épisodes de sécheresse et d'humidité. Cette étude qui s'appuie sur le calcul d'un certain nombre d'indices a permis de se rendre compte de l'extrême variabilité des pluies. Elle a montré aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée dans la période choisie.

La détection de la rupture a été faite par des tests statistiques proposés par des logiciels tel que (le logiciel R, XI-Stat.....) ,le test de Pettitt (1979) et les résultats obtenus confirment la présence d'une homogénéisation dans les séries chronologiques de pluies, le Zonage pluviométrique par l'Analyse en Composantes Principales a divisé l'Algérie en quatre régions pluviométriques (Nord\_Est ,Nord\_Ouest, les hauts plateaux ,sud), le test graphique de la distribution Annuelle Mensuelle, et saisonnière pour les quatre régions déterminées montre une irrégularité dans le régime pluviométrique d'où le maximum hivernal est marqué par la région nord-est dans la station de Jijel et le minimum hivernal dans la région Sud marqué par la station Adrar L'évolution de l'indice de précipitation standardisé (SPI) a montré la présence d'une Variabilité temporelle des précipitations avec l'existence des périodes humides,

L'application des indices aux séries pluviométriques et hydrologiques a mis en évidence une variabilité climatique caractérisée par une alternance de phases humides, normales et sèches. Ces méthodes statistiques indiquent la diminution des précipitations qui est bien apparente dans les années 80 et les années 90,

# Conclusion Générale

---

Les principaux phénomènes météorologiques et surtout pluviométriques jouent un rôle Considérable sur le plan physique et, par voie de conséquence, sur le plan humain, mais ils ne sont pas toujours aisés à analyser et cela par suite de la faiblesse du réseau d'observation, de l'inégale valeur des données pluviométriques et de la grande déficience des archives, Cette situation nous oblige d'essayer d'autres solutions pour éclairer la relation spatiale et temporelle du climat.

Ce travail se compose de trois chapitres, après une introduction générale, le premier Chapitre a été réservée à une présentation générale de la Zone d'étude d'où :

L'Algérie présente un support topographique de structure et d'altitude très variés. La coupe longitudinale Nord Sud a fait ressortir 4 principaux ensembles topographiques : les plaines littorales, l'ensemble intramontagnard, les hauts plateaux et le désert. Ces ensembles se différencient d'un point de vue topographique, écologique et climatique. Le relief hétérogène, les différentes structures et formations géologiques, les chaînes montagneuses de l'atlas tellien et saharien, forment des barrières naturelles, d'une importance capitale et marquent d'une façon importante la transition entre le nord et le sud. Tous ces caractères constituent un écran aux influences du climat et, par conséquent, modifient sensiblement les facteurs climatiques du nord au Sud et d'Ouest en Est Algérien.

Sur le plan climatique, la région d'étude est caractérisée par la transition d'un climat méditerranéen humide, subhumide, doux et tempéré en hiver, chaud et sec en été à un climat semi-aride sur les hautes plaines et aride sur les zones désertiques.

Concernant les précipitations, le régime enregistré est très hétérogène. Nous remarquons que le relief joue un rôle très important dans la répartition des précipitations. Le gradient nord-sud caractérise le retrait de l'influence maritime et l'établissement des influences continentales au fur et à mesure que l'on pénètre à l'intérieur des terres.

Le deuxième chapitre, a été réservé à une étude des concepts généraux et les méthodes statistiques utilisées pour étudier la variation du régime pluviométrique annuelle, mensuelle et saisonnier et la détection de la sécheresse et en dernier lieu on traite l'agressivité et la concentration de pluie.

Le troisième chapitre est l'étude de cas en se basant sur les données mensuelle issues de 37 stations pluviométriques situées dans le territoire algérien avec une période de (1985-2018), on se propose d'examiner les principaux changements qui ont affecté le régime des pluies avec les différentes méthodes statistiques, on premier lieu on a étudié la variation spatiale du régime pluviométrique ,on a utilisé l'Analyse en Composantes Principales pour faire sortir les quatre régions climatiques qui ont le même caractère pluviométrique (Nord-Est, Nord-Ouest, les Hauts Plateaux et le Sud).

# Conclusion Générale

---

Le deuxième volet sera réservé pour la variation temporelle, On peut dire que les moyennes annuelles varient d'une année à l'autre et d'un mois à l'autre. Par contre, on peut noter que la variabilité saisonnière dans l'observation du changement des précipitations d'une zone à l'autre est parfois très significative.

La vérification de la répartition des précipitations et la détection de la sécheresse au cours de la période traitée à l'aide de l'indice de concentration **PCI** et l'indice d'agressivité (Fournier Modifié) **IFM**.

On a estimé la nature de la concentration qui est d'uniforme à irrégulière et l'agressivité de très faible à très forte. Ainsi l'utilisation de l'indice de précipitation standardisée **SPI** a montré la présence des périodes de sécheresse en Algérie ce qui prouve l'existence d'un véritable changement du régime climatique en Algérie.

Une forte sécheresse s'établit pendant près de quinze ans, de 1987 à 2002. Elle est suivie du retour à une situation plus clémente (qualifiée d'humide) depuis 2003. Ce retour à des précipitations plus abondantes s'accompagne d'un plus grand nombre d'épisodes pluvieux extrêmes (perturbations pluvio-orageuses sévères).

Ces phénomènes ont été particulièrement fréquents au cours de la dernière décennie, Tout comme les jours d'orage.

L'orientation majeure de cette étude pour l'avenir sera de :

- Etendre la série des données climatologiques sur une période d'au moins 50 ans, pour une meilleure évaluation des fluctuations de précipitations et la mise en place de cartes pluviométriques de toute l'Algérie.
- Eliminer toutes les irrégularités des valeurs enregistrées dans les différentes stations pour faciliter l'appréciation des facteurs secondaires et locaux de la zone d'étude.
- Mener une étude statistique approfondie pour déterminer un indice climatique spécifique pour l'Algérie et mieux adapté aux conditions climatiques qui y règnent.

Cette étude nous a permis d'en savoir plus sur le régime pluviométrique en Algérie depuis 1985. Nous pouvons considérer ce travail comme un document de base pour les personnes et organismes chargés d'une éventuelle élaboration de la situation climatique et d'une régionalisation pluviométrique et un moyen de montrer qu'il est possible d'utiliser les méthodes de la comparaison avec les lois de la concentration **PCI** et l'agressivité **IFM** et l'indice pluviométrique **SPI** pour avoir une représentation satisfaisante sur le climat en Algérie et leur relation avec le changement climatique actuelle.

## **Références bibliographiques**

---

- ABDERRAHMANI, BELAI. (2015) Les risques Climatiques leurs impact sur l'environnement. Thèse doctorat. Université Mohamed Boudiaf.
- ACHITE, Mohammed et al (2014) Etude de la variabilité climatique dans le nord-ouest Algérien (Bassin versant de l'Oued Mina), Pp122.
- AIT-OUALI A., (2007) Synthèse hydrogéologique et vulnérabilité à la pollution du système aquifère quaternaire de la Mitidja. Mémoire de magistère, IST\_USTHB. Alger, 153p.
- Ambroise, Bruno., (1998). Du Cycle de l'eau dans un bassin versant -Processus, Facteurs, Modèles-. Editions \*H\*G\*A\*, Bucares. 200 p.
- Anonyme, (2014) Le mouvement des ONG françaises engagées pour l'accès à l'eau et à l'assainissement pour tous. Eau et changement climatique : note de recherche ; Disponible Sur < [www.coalitioneau.org](http://www.coalitioneau.org)>.
- ANONYME (2009). Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. PNUD. Algérie, 19 p.
- CHAMPEAUX J.-L., TAMBURINI A. (1996). « Zonage climatique de la France à partir des séries de précipitations (1971-1990) du réseau climatologique de l'État », *La Météorologie*, série 8, n° 14, p. 4-44.
- ARDOIN B. S. (2004). Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources En eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse doctorat de l'Université de Montpellier II, 330p.
- Arezki, TAZDAIT. (2012) Étude de la persistance de la sécheresse au niveau la plaine de la Mitidja à l'aide des chaînes de Markov. Mémoire magister. ENSH.
- Bahroun S., Kherici Bousnoubra H. (2011). Évaluation de l'indice de pollution organique Dans les eaux naturelles cas de la région d'el tarf (nord-est algérien), pp. 171-178
- Bates, B. et al, 2008: Le changement climatique et l'eau, document technique publié par le GIEC, Genève, 236p.
- Belaidi M., et Salhi M., 2011. Note sur la piézométrie de la nappe de la Mitidja (campagne 2010). Agence national des ressources hydrauliques. 28 p
- El Ibrahimy, AbdIhamid et al. (2015) Etude de l'impact des variations pluviométriques sur Les fluctuations piézométriques des nappes phréatiques superficielle en zone semi-aride (Cas de La plaine de Saïs, Nord du Maroc). Européen Scientific Journal, édition vol.11, No.27
- Franck, L'Espinas. (2008) Impacts du changement climatique sur l'hydrologie des fleuves Côtiers en région Languedoc-Roussillon. Thèse de doctorat. UNIVERSITE DE PERPIGNAN.
- Gaouas L, (2004) Evaluation des sols de la Mitidja. Document interne, INA, El Harrach Algérois. Magister INA, El Harrach.
- GIEC, (2001). Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques. Rapport de synthèse n.3, 97p.

## ***Références bibliographiques***

---

- MEDJERAB A. (1998). — Étude pluviométrique de l'Algérie nord-occidentale ; approche statistique et cartographie automatique, *Thèse de doctorat d'État, faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et Aménagement du Territoire, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger.*
- GIEC, (2007). *Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse n.4, 114p.*
- Guttman N. B., (1998). Comparing the Palmer drought index and The standardized Precipitation index. *Journal of the american water resources association, vol34.*
- Hubert P., Carbonnel J.P., Chaouche A., (1989). Segmentation des série hydrométéorologiques: Application à des séries de précipitations et de débits en Afrique de l'Ouest. *Journal of Hydrology 110: 349-67.*
- Jean-Marc, WATELET.(2010) impact du changement climatique sur la stabilité des cavités souterraines. L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques .
- KADI A. (1997). La gestion de l'eau en Algérie, *Hydrological Sciences (Journal des Sciences Hydrologiques), Vol.42, N°2, 191-197.*
- KHALDI, Abdelkader.(2005) Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien .thèse doctorat
- Kendall M.G, (1975), Rank correlation methods, 4th Edition Charls Grffin, London, Pp202.
- LABORDE, J.P. (2009). *Éléments D'hydrologie De Surface. Ecole Polytechnique De L'université De Nice - SOPHIA ANTIPOLIS 202 p. Edition 2009.*
- LARBI, Arezki.(2012) Utilisation d'un SIG et d'un modelé mathématique pour la gestion intégrée des ressources en eau a l'échelle du bassin côtier Algérois .
- Lidia, NAMANE. (2009) Suivi des irrigations dans une exploitation agricole de la Mitidja ouest commune de Mouzaia thèse de doctorat ENSA d'Elharrache Alger .
- Lubes. H et Al, 1994, Caractérisation de fluctuation dans une série chronologique par application des tests statistiques, étude bibliographique, rapport n°3 programme ICCARE, ORSTOM Montpellier, 21 p.
- Matari.A (2010) ; sècheresse comme exemple de risques majeurs (mémoire de IHFR).
- Mann, H. B. 1945 Nonparametric tests against trend. *Econometrica* .
- Marc Morell,(1999) Acquisition et Constitution d'une Information Hydrologique De Base. Editions \*H\*G\*A, Bucarest. 203p.
- MCKEE T.B., DOESKEN N.J. et KLEIST J. (1993) - The relationship of drought Frequency and duration to time scale. *Actes de la 8th Conference on Applied Climatology (Anaheim, Californie), Pp. 179-184*



## ***Références bibliographiques***

---

- Medjerab A, Henia L. (2005), Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nord occidentale, PFE.
- Meddi M, Hubert P, (2003). Impact de la modification du régime pluviométrique sur les Ressources en eau du nord-ouest de l'Algérie.
- Nazzel et al, (2013) Variabilité climatique et impacts anthropiques sur la nappe alluviale de la Mitidja orientale (baie d'Alger), Revue scientifique et technique.
- Organisation météorologique mondiale (OMM). (2007). Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. 114p. PAC,2004 .
- SAIDI, Hayet., (2011). Impact des changements climatiques sur le régime des cours d'eau : cas de l'Oued Mina . thèse doctorat.
- Pttitt A.N, (1979), A non -parametric Approche to the chage -point.Problem, Applied Statistics, 28N°2, 126-135.
- PUGET, Jean-Loup., BLANCHET, René., SALENÇON, Jean., CARPENTIER, Alain.(2010). Le changement climatique. Académie des sciences. Synthèse des interventions et discussions

# Liste des figures

---

<b>Fig.1.</b> Situation géographique de l'Algérie.....	6
<b>Fig.2.</b> Principaux relief d'Algérie.....	7
<b>Fig.3.</b> Résume la pluviométrie dans le nord algérien.....	9
<b>Fig .4.</b> Les principaux domaines bioclimatiques de l'Algérie.....	10
<b>Fig .5.</b> Bassins versants su nord de l'Algérie (source : ANRH).....	12
<b>Fig .6.</b> Répartitions des stations pluviométriques.....	14
<b>Fig. 7.</b> Schéma du cycle hydrologique (Environnement Canada, 2013).....	18
<b>Fig.8.</b> Répartition mondiale des précipitations.....	20
<b>Fig. 9.</b> Grands ensembles du relief de l'Algérie du Nord des planes.....	25
<b>Fig. 10.</b> Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale source : GIEC.....	28
<b>Fig. 11.</b> Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000).....	28
<b>Fig. 12.</b> Evolution précipitations moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000).....	29
<b>Fig. 13.</b> Graphe du test de pettitt.....	43
<b>Fig. 14.</b> la distribution annuelle des précipitations sur la période 1985/2018.....	48
<b>Fig. 15.</b> La distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région1..	49
<b>Fig. 16.</b> La distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région2..	50
<b>Fig. 17.</b> la distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région3..	51
<b>Fig. 18.</b> La distribution saisonnière des précipitations sur la période 1985/2018 de la région4..	52
<b>Fig. 19.</b> La distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région1 ...	53
<b>Fig. 20.</b> la distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région2....	53
<b>Fig. 21.</b> la distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région3.....	54
<b>Fig. 22.</b> La distribution mensuelle des précipitations sur la période 1985/2018 de la région4...	55
<b>Fig. 23.</b> Évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1985/2018) de la région1 .....	56
<b>Fig.24.</b> Évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1985/2018) de la Région2.....	56
<b>Fig.25.</b> évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1986/2018) de la région3.....	57
<b>Fig.26.</b> Évolution de la moyenne centrée réduite sur la période (1986/2018) de la région4.....	57
<b>Fig. 27.</b> La variation entre la précipitation moyenne et l'altitude par région (1985/2018).....	60
<b>Fig.30.</b> Évolution de la précipitation moyenne annuelle en fonction de la latitude (1985/208)...	61
<b>Fig.31.</b> Variation du PCI de toutes les stations étudiées(1985/2018).....	62
<b>Fig.32.</b> Variation du IFM Indice de l'agressivité des précipitations toutes les stations étudiées.	64
<b>Fig.34.</b> Evolution de l'indice pluviométrique pour la région 1 pour la période(1985/2018).....	65
<b>Fig.36.</b> Evolution de l'indice pluviométrique pour la Région2 pour la période(1985/2018).....	66
<b>Fig.37.</b> Evolution de l'indice pluviométrique pour la Région3 pour la période(1985/2018).....	67
<b>Fig.38.</b> Evolution de l'indice pluviométrique pour la Région4 pour la période(1985/2018).....	68

# *Liste des tableaux*

---

<b>Tableau.1.</b> Régimes pluviométriques du monde (Tiréde Champoux, Toutant, 1988)....	22
<b>Tableau.2.</b> coordonnées des stations pluviométriques utilisées.....	33
<b>Tableau .3.</b> Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation Standardisé (McKee et al 1993).....	40
<b>Tableau .4.</b> Echelle d'appréciation de la concentration des pluies selon l'indice PCI (Précipitation Concentration Index).....	40
<b>Tableau .5.</b> Echelle d'appréciation de l'agressivité des pluies selon l'indice IFM (Indice de Fournier Modifié).....	41
<b>Tableau.6.</b> Saturations supérieurs à 0.5 obtenus par l'ACP.....	44
<b>Tableau.7.</b> Coefficient de variation des quatre régions définies par l'ACP.....	45
<b>Tableau.8.</b> Coefficient de tendance temporelle pour chaque station.....	47

# Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Introduction général	1
Méthodes d'Approchés Générale	3
Organisation du Travail	5

## **CHAPITRE I : Présentation de la zone d'étude**

I. Introduction	6
II. Présentation générale de l'Algérie	6
1. Principales unités topographiques de l'Algérie	7
2. les Influences Climatiques subit par l'Algérie	8
3. La Classification bioclimatique d'Emberger et de Sauvage	10
4. Le réseau d'observation météorologique en Algérie	13
Conclusion	15

## **CHAPITRE II: Les Concepts et Méthodes Utilisées**

I. Introduction	16
II. Les concepts Généraux	16
1. Cycle global de l'eau (cycle de l'eau)	Erreur ! Signet non défini.
2. Composants du cycle hydrologique	16
3. La Précipitation	19
4. Classification des précipitations	19
5. Répartition de précipitation	19
5.1. Inégale répartition dans l'espace	19
5.1.1. À l'échelle du globe	19
5.1.2. À l'échelle régionale	19
5.1.3. À l'échelle locale	20
5.2. L'inégale répartition des pluies dans le temps :	20
5.2.1. Variations aléatoires	21
5.2.2. Variations périodiques	21
5.2.3. Variation séculaire :	21
6. Régime des précipitations	21
7. Influence de l'altitude	23
8. La variabilité temporelle	23
9. La concentration de la pluie	24
10. L'agressivité de la pluie	24
11. La sécheresse en Algérie	Erreur ! Signet non défini.
12. Le rôle de l'altitude et de la latitude sur les hauteurs pluviométriques	26

III.Changement climatique .....	27
1. Les indicateurs de l'évolution climatique.....	27
1.1.À l'échelle globale.....	27
1.2. A l'échelle régionale (l'Algérie).....	28
2. Causes de changements climatiques .....	29
3. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique.....	30
4. Impact du changement climatique sur les eaux de surface .....	30
5. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines.....	30
IV.Les Méthodes Utilisées .....	32
1. données utilisées.....	32
1.1.Étude d'homogénéité des séries .....	34
2.Variation spatiale.....	35
2.1. Régionalisation des précipitations par l'ACP .....	35
2.2.Détermination d'ensembles régionaux par le coefficient de variation .....	37
3.Variation Temporelle .....	38
3.1.Moyenne de valeurs centrées réduites de chaque région .....	38
3.2.Tendance temporelle.....	38
4. Indices utilisés pour le suivi de la sécheresse.....	38
4.1. Définition de la sécheresse .....	38
4.2. L'indice de précipitations standardisé (SPI) .....	39
4.3.La concentration mensuelle de la pluie .....	40
Conclusion.....	42

### ***CHAPITRE III : Résultats et discussions***

I.Introduction .....	43
II. La détections des ruptures dans les séries des précipitations .....	43
III. Variation spatiale.....	43
1. les Résultats de la Régionalisation des précipitations par l'ACP .....	43
2. <i>les quatre régions qui ont le même caractère pluvieux</i> .....	45
IV.Variation Temporelle.....	48
1. la distribution annuelle des précipitations sur la période 1985/2018 .....	48
2 .la variation saisonnière des précipitations .....	49
3.la variation mensuelle des précipitations.....	52
4. <i>la détection des périodes excédentaires et déficitaires pour chaque Région pour la période 1985/2018.....</i>	56
5. Tendance temporelle.....	58
V. La relation entre les précipitations moyenne et l'altitude .....	60
VI. La relation entre les précipitations et la latitude.....	61
VII. La concentration mensuelle de la pluie(PCI).....	62
VIII. Agressivité mensuelle des pluies(IFM).....	64

<b>IX. Detection de sechresse par l'indice de précipitations standardisé (SPI).....</b>	<b>65</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>69</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>70</b>
<b>List des Figures</b>	<b>72</b>
<b>List de tableaux</b>	<b>73</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>74</b>
<b>Résumé</b>	

# Résumé

L'étude de la variabilité spatiale et temporelle des précipitations annuelles et mensuelles en Algérie a pour but de mettre en exergue l'existence du changement climatique, manifestée principalement par une variabilité dans la quantité des précipitations et leurs irrégularités au niveau de la zone étudiée entre 1985 et 2018. Pour atteindre cet objectif, des données pluviométriques et méthodes statistiques (l'indice de précipitation standardisé (SPI), l'indice de concentration des précipitations (PCI) et l'indice de fourrier modifier (IFM), test d'homogénéité et cumul pluviométriques, test de Pettit, la régionalisation par l'Analyse en Composante Principale (ACP), des graphes pluviométriques) ont été employées.

Des régimes pluviométriques.

Les résultats de cette étude ont indiqué l'existence des ruptures manifestées par des Fluctuations

**Mots clés** : Variabilité spatiale, Variabilité temporelle, l'Algérie, Changement climatique, Rupture, Tendence, Sècheresse.

## Abstract :

The study of the spatial and temporal variability of annual and monthly precipitation in Algeria aims to highlight the existence of climate change; this is mainly due to variability in the amount of precipitation and its irregularities in the study area between 1985/2018.

To achieve this objective, rainfall data and statistical methods (the Standardized precipitation Index (SPI), the precipitation concentration Index (PCI) and the modified Impoundment Index (IFM), homogeneity test and accumulation of rainfall, Pettit test regionalization by principal component Analysis (ACP), rainfall graphs were used.

The results of this study indicated the existence of fluctuations in rainfall patterns.

**Keywords:** spatial variability, temporal variability, Algeria, Climate change, Rupture, Trend, Drought.

## المخلص

التغيرات و اتجاهات الأمطار الشهرية و السنوية قد تم دراسته في المدة (1985/2018) و ذلك باستخدام الأساليب البيانية الاختبارات الإحصائية مؤشر موحد هطول الأمطار إذ لوحظ في انخفاض معدل سقوط الأمطار.

لقد كشف تحليل المكونات الرئيسية عن اربعة مناطق رئيسية. منطقة الساحلية الغربية ، و التي تتميز بانخفاض طفيف في المعدل تساقط الامطار السنوي. المنطقة الشرقية الساحلية تتميز باستقرار في نضام تساقط الامطار. منطقة الهضاب العليا المتميزة بعز في نسبة هطول الامطار. إذن انخفاض نسبة سقوط الامطار و ارتفاع درجات الحرارة راجع الي الاحتماس الحراري من المقررات تكون سنة 2013 بداية لمرحلة جفاف.

**الكلمات المفتاحية :** الامطار ، ، الاتجاهات، الاساليب الاحصائية