

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre
Département d'Ecologie et Environnement



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention de diplôme de Master

Domaine: science de la nature et de la vie

Filière: Science agronomique

Spécialité: Aménagement Hydro-Agricole

Contribution à l'étude de la Variabilité spatio-temporelle de pluie dans le bassin versants du Haut et moyen de Cheliff

Présenter par :

- *M^{lle}. YAKOUB Nawel*
- *M^{lle}. HENNICHE Hanane*

Devant le jury :

Président	Mr. MEROUCHE Abdelkader	MCA UDB Khemis-Miliana
Promoteur	Mr. IMESSAOUDENE Yassine	MAA UDB Khemis-Miliana
Examineur	M^{me}. BOUACHI Ilhem	MAA UDB Khemis-Miliana

Année universitaire : 2021/2022

REMERCIEMENT

Tout d'abord :

Merci à Allah le tout puissant qui m'a donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

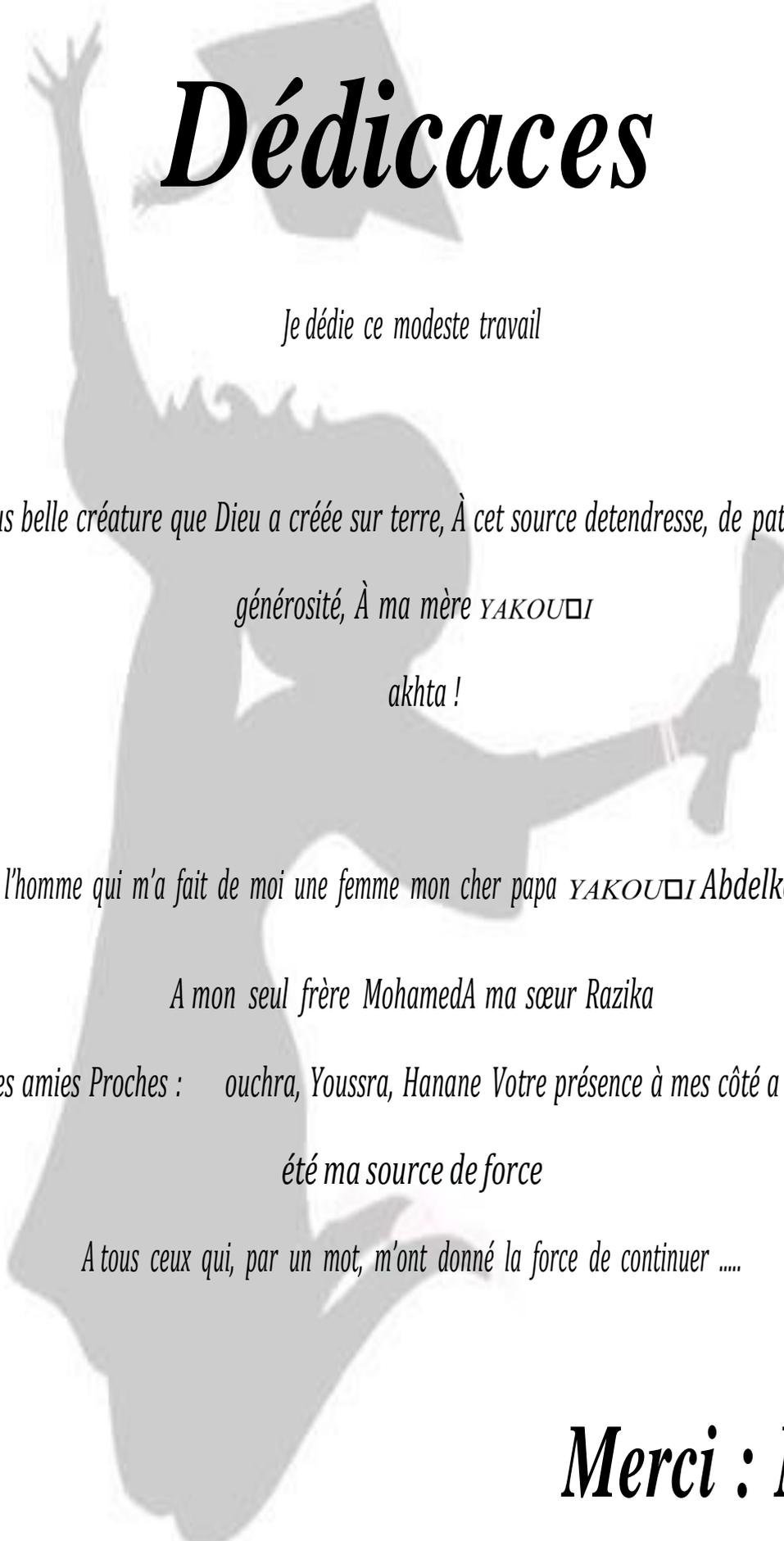
J'exprime ma reconnaissance aux membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.

*Je remercie vivement Mr. **IMESSAOUDENE.Y**, pour avoir accepté de m'encadrer et m'avoir accordé sa confiance tout au long de ce travail.*

*J'exprime mes sincères gratitude à Mr. **MEROUCHE.A**, de l'honneur qu'il nous a fait en acceptant de présider le jury de soutenance.*

*J'exprime ma gratitude à M^{me} **BOUACHLI.I**, de m'avoir honoré en acceptant d'examiner mon travail. Ses remarques et critiques seront certainement très bénéfiques ; merci.*

Enfin, je remercie toutes les personnes que j'ai côtoyées et qui ont contribué de loin ou de près à l'avancement de mon mémoire, mes enseignants et collègues.



Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

*À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre, À cet source de tendresse, de patience et de
générosité, À ma mère YAKOU□I
akhta !*

A l'homme qui m'a fait de moi une femme mon cher papa YAKOU□I Abdelkader.

A mon seul frère Mohamed A ma sœur Razika

*A mes amies Proches : Ouchra, Youssra, Hanane Votre présence à mes côtés a toujours
été ma source de force*

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Merci : Nawel

Dédicaces

Je dédie cet humble travail à : La source de tendresse et la personne la plus précieuse de mon cœur, ma chère maman Belhenniche Rokia

A mon lien, à l'homme qui a peiné et sacrifié pour me voir dans les plus hauts rangs, mon cher père Henniche Hocine

*A mes frères et soeurs et leurs enfants qui ont partagé avec moi ma peine et ma joie
Meriem.Iman.Zahra.Amine.Raouf.Maram.Rayan.Widjan.Razan.Meriem.malk*

À toute la famille et aux proches et à tous ceux qui portent le nom henniche

A mes collèguesde travail epsp , Ain lechiekh

Hennich hanane

Résumé

L'Algérie est un pays aride à semi-aride très vulnérable au changement climatique. La pluviométrie limitée le long de son littoral, incertaine voire inexistante au sud, est particulièrement sensible aux effets négatifs du réchauffement climatique. La tendance est à la baisse depuis 1975, et la phase ascendante des précipitations n'est pas prête de commencer. C'est dans cette perspective que cette étude vise à analyser la variation interannuelle de 15 stations pluviométriques du bassin versant supérieur et moyen du Cheliff durant la période 1975/76-2012/19). Ces séries chronologiques ont été testées à l'aide d'une méthode de moyenne mobile sur sept ans et d'un test de percée statistique non paramétrique (Pettitt et Mann-Kendall).

On constate que l'année la plus sèche a été enregistré au niveau de la station Kherba oued hellal de valeur la plus élevée du SPI est de 1,95 en 1987.

L'année la plus humide a été enregistré au niveau de la station Ghrib amont de valeur SPI 3,78 en 2013

La spatialisation des hauteurs de la pluie moyenne annuelle a été faite par le logiciel Surfer 2018 par méthode de Krigage en utilisant le modèle de variogramme théorique linéaire.

On constate d'existence de deux gradients :

Un gradient Nord-Sud

Un gradient Nord-Est Sud-Ouest

Mot clé : pluviométrie, climat, humidité, sécheresse, haut de Chélif.

Abstract

Algeria is an arid to semi-arid country very vulnerable to climate change. The limited rainfall along its Coastline, uncertain or non-existent in the south, is particularly sensitive to the negative effects of global Warming. The trend has been downward since 1975, and the upward phase of precipitation is not ready To begin. It is in this perspective that this study aims to analyze the inter-annual variation of 15 rainfall Stations of the upper and middle Chélif watershed during the period 1975/76-2012/19). These time Series were tested using a seven-year moving average method and a nonparametric statistical Breakthrough test (Pettitt and Mann-Kendall).

It is common knowledge that the driest year was recorded at the Kherba Oued hellal station with the Highest SPI value of 1.95 in 1987.

The wettest year was recorded at SPI 3.78 upstream Ghrib station in 2013

The specialization of the annual average rainfall heights was done by the software Surfer 2018 by Krigage method using the linear theoretical variogramme model.

There are two gradients:

A North-South guard

A Northeast Southwest gradient

Key word: rainfall, climate, humidity, drought, top of Chélif.

ملخص:

الجزائر بلد جاف إلى شبه قاحل شديد التأثر بتغير المناخ. إن الأمطار المحدودة على طول سواحلها ، غير المؤكدة أو غير الموجودة في الجنوب ، حساسة بشكل خاص للآثار السلبية للاحتباس الحراري. كان الاتجاه نحو الانخفاض منذ عام 1975 ، والمرحلة التصاعدية لهطول الأمطار ليست على وشك أن تبدأ. من هذا المنظور ، تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التباين بين السنوات لـ 15 محطة مطرية في مستجمعات المياه العليا والمتوسطة في Cheliff خلال الفترة (1975 / 76-2012 / 19). تم اختبار هذه السلاسل الزمنية باستخدام طريقة المتوسط المتحرك لمدة سبع سنوات واختبار اختراق إحصائي غير حدودي (Pettitt and Mann-Kendall).

من الثابت أن أكثر الأعوام جفافاً سُجلت في محطة خربة وادي جهنم حيث كانت أعلى قيمة للمعيار SPI هي 1.95 في عام 1987.

تم تسجيل أكثر الأعوام رطوبة في محطة غرب المنبع بقيمة SPI بلغت 3.78 في عام 2013 تم تحديد ارتفاعات متوسط هطول الأمطار السنوي بواسطة برنامج 2018 Surfer بطريقة Krigage باستخدام نموذج variogramme النظري الخطي.

نلاحظ وجود اثنين من التدرجات:

وصي بين الشمال والجنوب

تدرج لوني شمالي شرقي جنوبي غربي

الكلمات المفتاحية: هطول الأمطار ، المناخ ، الرطوبة ، الجفاف ، الشليف العلوي

Liste des acronymes, sigles et abréviations

ANRH : agence national de ressource hydraulique

SPI : Indice standardisé des précipitations

ACP : Analyse en Composante Principale

OMM : Organisation météorologique mondiale

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

AEP : Alimentation en eau potable

UMK : Université Malaysia Kelantan

HPEA : Hiver, printemps, été, automne

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

ANBT : L'Agence National des Barrages et Transferts

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
List de Tableau	
Introduction	01
Chapitre I : Ressource en eau	
I- Introduction	04
I-1/Origines et différents types d'eau	04
I-1- Classification des ressources en eau et cycle de l'eau	04
I-1-1- Les ressources mondiales en eau	05
I-1-2- L'eau dans le monde arabe	05
I-1-3- L'eau en Algérie	06
I-1-4- Le découpage hydrographique de l'Algérie	07
I-1-5- Collecte des eaux de pluie	07
I-2/ Notion de ressources en eau	08
I-3- Classification des ressources en eau	09
I-3-1- Ressources en eaux conventionnelles	09
I-3-1-1- Evaluation de la ressource en eau souterraines	10
I-3-1-1-a/ Constituants des eaux souterraines	10
I-3-1-2/ Evaluation de la ressource en eau superficielle	11
I-3-2/ Ressources en eau non conventionnelle	11
I-3-2-1 / Les eaux épurées	12
I-3-2-1-a/ Réutilisation des eaux usées urbaines épurées	13
I-3-2-2- Dessalement	13
I-3-2-2-1- Définition de dessalement	14
I-3-2-2-2- Les principes de dessalement	14
I-4- Conclusions sur les ressources en eau	14
Chapitre II : variabilités spatio-temporelles	16
II Introduction	17

II.1. variabilité dans le temps	17
II.1.1. Variabilité pluviométrique annuelle, saisonnière et mensuelle	17
II.1.2. Calcul des récurrences	17
II.1.3. Calcul du module humide	18
II.1.4. Récurrence du module théorique le plus fort	18
II.1.5. Récurrence du module théorique le plus faible	19
II.2. Notion de la sécheresse	19
II.2.1. Définition de la sécheresse	19
II.2.2. Les types de sécheresse	19
II.2.2.1. La sécheresse de type météorologique	20
II.2.2.2. La sécheresse de type agricole	20
II.2.2.3. La sécheresse de type hydrologique	20
II.2.2.4. La sécheresse socio-économique	21
II.2.3. Relation entre les différents types de sécheresse	21
II.2.4. Indices de sécheresses	21
II.2.5. Impacte de la sécheresse sur les ressources en eau en Algérie	22
II.3. Variabilité spatiale	22
II.3.1. Coefficient de variation (CV)	23
II.3.2. Krigeage (interpolation méthodes)	23
II.4. Les indices pluviométriques	24
II.4.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em)	26
II.4.3. Indices de sévérité	26
II.4.4. Rapport à la normale des précipitations (RN)	27
II.4.5. Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En))	27
II.4.5.1. Méthode des écarts types	27
II.4.6. Indice standardisé de précipitation SPI	28
II.5. Conclusion	29
Chapitre III : Présentation de la zone d'étude	30
III. Introduction	30
III.1 Situation géographique de la région d'étude	30
III.1.1 Présentation de la région d'étude	30
III.1.2 Réseau hydrographique	30
III.2 Caractéristiques morphométriques	31

III.2.1. forme des bassins	32
III.2.1.1. Indice de compacité de Gravilius (Kc)	32
I.3 Paramètres Climatologiques	32
I.3.1 Etude des précipitations	32
II.3.2. Températures	35
III.3.3. Vitesse du vent	38
III.3.6. l'évaporation	39
III.4. Occupation du sol	40
III.5. Géologie et hydrogéologie	41
III.5.1. Géologie	41
III.5.2. Hydrogéologie	41
Chapitre VI : Matériel et méthodes	42
VI. 1. Données pluviométriques	42
VI. 1. 1. Acquisition de données et choix de la période de référence	42
VI. 1. 2. Situation géographique des stations étudiées	43
VI. 2. Traitement statistique des séries pluviométriques	43
VI. 2. 1. Homogénéisation des données pluviométriques et tendance	43
VI. 2. 1. 1. Tests statistiques	44
VI. 2. 1. 1. 1. Test de détection de rupture de Pettitt (1979)	44
I. 2. 1. 1. 2. Test de tendance de Mann Kendall	44
VI. 2. 1. 1. 3. Lissage des données	44
VI. 2. 1. Régionalisation des données	44
VI. 2. 2. 1. Analyse multi variée : Analyse en composantes principales	45
VI. 2. 3. Analyse fréquentielle	45
VI. 2. 3. 1. Ajustement à une loi	45
VI.2. 3. 2. Loi normale (loi de Gauss)	46
VI.1.2.2. Calcul du coefficient de variation (Cv)	46
VI.2. 3. 3. Test d'adéquation	47
VI.2. 3. 1. Détermination des périodes de retour des pluies:	47
VI. 2. 4. Indice pluviométrique standardisé (SPI)	48
VI. 2. 2. 2. Approche géostatistique	49
Chapitre V : Résultats et discussion	49
V.1. Variabilité des pluies annuelles	49

V.1.1. Caractéristiques des pluies annuelles	49
V.2. Variabilité relative des pluies annuelles	50
V.3. Étude de la variabilité temporelle des pluies	50
V.3.1. Test d'homogénéité et tendance des précipitations	54
V.3.2. Détection des tendances secondaires par moyenne mobile	55
V.4. Variabilité spatio-temporelle des pluies saisonnières	56
V.4.2.1. Analyse fréquentielle	56
V.4.2.2. L'équation d'ajustement	63
V.4.3. Analyse en composantes principales ACP	63
V.5. Caractérisations de la sécheresses et du déficit pluviométrique	64
V.5.1. Indice standardisé des précipitations (SPI)	64
Conclusion	65
Références bibliographiques	
Annexe	

Liste des figures

Figure 01 : Relation entre les différents types de sécheresse (Source : Centre national de lutte Contre la sécheresse	8
Figure 02 : carte de situation de la zone d'étude	35
Figure 03 : Réseau hydrographique du bassin haut et moyen Cheliff (Sahraoui, 2015)	20
Figure 04 : Evolution des hauteurs moyennes mensuelles des précipitations	25
Figure 05 : Contribution saisonnière des précipitations (1975-2012)	35
Figure 06 : Contribution saisonnière des précipitations _ (1975-2012)	40
Figure 07 : évolution des températures mensuelles moyennes de la station Khemis Miliana (2016-2021).	43
Figure 09 : Situation des postes pluviométriques du haut Chélif	44
Figure 10 : Hauteur de la pluie et coefficient de variation	46
Figure 11 : Rupture de stationnarité – Station Ghrib	48
Figure 18 : Cercle de corrélation des stations sur le plan (F1, F2)	51

List de Tableau

Tableau.01 : Régions hydrographiques et leurs bassins versants	8
Tableau 02: Distribution selon les fréquences	15
Tableau 03: Les différentes classes de l'indice du nombre d'écart type	20
Tableau 04: classe de distribution des années selon SPI	25
Tableau 05 : Classes de formes des bassins (Barké et al. 2022)	35
Tableau 06 : indice de compacité par sous bassin versant	40
Tableau 08 : Présentation des stations pluviométriques (1975 2012).	43
Tableau 09 : Distribution saisonnières des précipitations moyennes	44
Tableau 10: Valeurs des températures mensuelles moyennes, maximales et minimales à la station de Khemis Miliana (2016-2020)	46
Tableau 11: Valeurs de la vitesse moyenne du vent – Station Khemis Miliana (2016-2020)	48
Tableau 14 : Caractéristiques géographiques des stations	51
Tableau 15 : Classification de la sécheresse (SPI)	55
Tableau 16 : Analyses statistiques descriptives des données de 5 stations (1975- 2019).	55
Tableau 17 : résultats du test d'homogénéité et de tendance	57
Tableau 18 : précipitation saisonnière de 5 stations (1975_2012)	58
Tableau 19 : les différentes périodes de retour	60
Tableau 20: Corrélation et contribution entre les variables et les facteurs.	63

Introduction

La ressource en eau superficielle et souterraine dans les pays semi-arides constitue le facteur limitant pour tout essor économique. Les pluies, qui constituent la source principale de cette ressource, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large. Elles interviennent par :

- ✓ Leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale
- ✓ Leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques ;
- ✓ Leurs totaux journaliers générateurs de crues.

L'eau qui est devenue une denrée rare et précieuse, constitue un élément indispensable pour la vie et l'équilibre de l'individu. Elle représente un facteur déterminant pour le développement économique et social d'un pays. Du fait de sa précarité et de sa fragilité, voire de son irrégularité, cette ressource nécessite notamment une attention très particulière quant à sa mobilisation et sa gestion. 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. La sécheresse, c'est l'importance problème posé par la disponibilité de l'eau dans le monde, compte tenu de la croissance de la population, particulièrement dans les villes et dans les pays pauvres ou en voie de développement, de la croissance des besoins notamment pour l'irrigation, voire des inquiétudes liées aux risques des changements climatiques (Khaldi A, 2005).

Les changements dans les précipitations sont très variables à l'échelle spatiale et d'une décennie à l'autre. Au cours du XXe siècle, les précipitations ont surtout augmenté sur les continents dans les latitudes les plus septentrionales, tandis que des diminutions ont principalement touché les latitudes comprises entre 10° S et 30° N depuis les années 1970 (bates et al. 2008).

À l'échelle mondiale, les précipitations présentent une forte variabilité décennale, avec une période relativement humide des années 1950 aux années 1970, suivie d'une baisse des précipitations. Les moyennes mondiales sont essentiellement marquées par des précipitations tropicales et subtropicales. Les tendances négatives des précipitations annuelles les plus importantes depuis 1901 sont observées en Afrique de l'Ouest et au Sahel, bien que de nombreuses autres régions de l'Afrique et l'Asie australe aient connu des tendances à la

Baisse. En Afrique occidentale, une diminution des précipitations annuelles a été observée depuis la fin des années 1960, avec une réduction de 20 à 40 % pendant la période allant de 1968 à 1990, par comparaison à la période 1931-1960 (nicholson et selato, 2000; chappell et agnew, 2004; dai et al. 2004).

À l'échelle locale, l'Algérie est un des pays arides à semi-arides les plus exposés au phénomène de changement climatique (bakreti et al. 2013).

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 (medejerab 2011).

Au cours des 30 dernières années, l'Algérie a connu une importante variabilité spatiale et temporelle des précipitations. Cette évolution, caractérisée par d'importants déficits pluviométriques, a impacté négativement le régime d'écoulement de l'oued, l'alimentation des nappes phréatiques et les niveaux de stockage des barrages, dont les conséquences sont souvent catastrophiques pour le développement de l'économie nationale.

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

Le déficit pluviométrique observé sur plusieurs années consécutives s'est répercuté sur les écoulements des grands cours d'eau en provoquant un effondrement de leurs caractéristiques hydrologiques (débits moyens annuels, débits moyens journaliers maximums, débits d'étiage). Les déficits d'écoulement semblent même amplifiés dans certains cas (ouedraogo, 2001).

Une meilleure compréhension de cette variabilité permettrait une amélioration de la gestion des risques induits par cette dernière et de bien gérer les ressources en eau et de la production agricole, ceci dans le cadre du développement durable du pays.

Cette étude est une contribution à l'étude des précipitations dans Nord de l'Algérie au bassin de haut et moyen de Chélif. Elle a pour objectif de mettre en évidence la variabilité spatio-

temporelle de la pluie dans cette région ce qui est important aux aménagements hydro-agricoles et l'étude du changement climatiques et la sécheresse dans la région

Pour cela, des méthodes statistiques sont utilisées pour analyser la distribution spatiale des précipitations, puis pour analyser ses évolutions temporelles aux échelles annuelle, saisonnière et mensuelle, et enfin pour effectuer une analyse en composantes principales des précipitations à l'échelle globale.

Notre travail comporte les parties suivantes :

La première partie a pour objet de présenter la zone d'étude du moyen et haut Chélif,

La deuxième partie est consacrée pour une synthèse bibliographique sur la variabilité des précipitations et la notion de la sécheresse ;

La troisième partie concerne le matériel et méthodes

La quatrième et la dernière partie pour présenter les résultats et la discussion.

I- Introduction

Selon le nouveau Larousse encyclopédique, l'eau est un «liquide incolore transparent, inodore, insipide, corps composé dont les molécules sont formés de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène (H₂O)» (Larousse Encyclopédique, 2003).

L'eau se définit aussi comme étant un : «liquide couramment utilisé dans l'étude des propriétés générales des substances liquides. L'étude de la dynamique des fluides, la presse hydraulique, les vases de communications sont autant d'applications de la physique de l'eau (Bouziani ;2000).

L'eau est liquide à des conditions normales de pression et de température, mais cette ressource peut-être dans d'autres formes également, un état solide dans la forme de la glace et l'état gazeux dans la forme de vapeur d'eau.

L'eau c'est la vie (Thielborger, 2014). Présente dans toutes les traditions et religions du monde, l'eau est un élément primordial du patrimoine culturel de l'humanité à travers les mythes et les symboles.

Ceux liés à l'eau entourent la création des formes terrestres, la naissance, la vie, le renouveau et la mort. Les sciences, l'art et les civilisations même ne sont pas pensables sans la présence de l'eau (Olivaux, 2007).

L'eau a accompagné la vie des êtres humains. Elle est au cœur de nos pratiques sociales, économiques et sanitaires ; l'eau s'inscrit au cœur même du vivant et conditionne la civilisation humaine. H₂O est la formule chimique de cette molécule, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène.

L'eau, très présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal, n'est pas un liquide banal. Elle a des propriétés physiques originales qui résultent de la composition des molécules et de la façon dont ces molécules se lient entre elles. On peut la trouver sous trois formes : liquide, solide ou gazeuse.

I-1/Origines et différents types d'eau

Sans rentrer dans les détails de l'origine des eaux et les relations entre leur composition, nous pouvons envisager selon le mode de gisement, deux sources principales d'eau: les eaux superficielles : les eaux des oueds, des lacs, des océans et des mers

- les eaux souterraines accumulées dans les nappes

- Et sans empiéter encore sur les études particulières portant sur les types d'eau, lesquelles établissent précisément une certaine corrélation entre composition et origine, nous pouvons distinguer :

- les eaux naturelles les eaux potables ;
- les eaux douces ;
- les eaux dures ;
- les eaux plates ;
- les eaux de marais ;
- les eaux saumâtres ;
- les eaux salées.

I-1- Classification des ressources en eau et cycle de l'eau

La Terre est l'unique planète du système solaire, dont la surface est recouverte de grande quantité d'eau (planète Mars). À l'état liquide. En fait, environ 70% de la surface de la Terre est une eau majoritairement salée. L'eau est indispensable à la vie, elle constitue 65% du corps humain (Laurent B, 2012) et elle est utilisée pour de nombreux usages essentiels : les boissons, l'hygiène, l'entretien de l'habitation, les loisirs, l'industrie, l'irrigation des cultures et l'abreuvement du cheptel.

I-1-1- Les ressources mondiales en eau

La demande mondiale en eau a augmenté d'environ 1 % par an en fonction de la croissance démographique, le développement économique et l'évolution des modes de consommation, entre autres facteurs, et elle continuera à croître considérablement au cours des deux prochaines décennies. La demande industrielle et domestique en eau augmentera plus rapidement que la demande agricole, bien que l'agriculture reste le plus grand consommateur global. La grande majorité de la demande croissante en eau se produira dans les pays en développement ou émergents. Parallèlement, le cycle de l'eau s'intensifiera en raison du changement climatique, les régions les plus humides devenant généralement plus humides et les régions sèches encore plus sèches. Environ 3,6 milliards de personnes dans le monde (près de la moitié de la population mondiale) vivent déjà dans des zones potentielles de pénurie d'eau au moins un mois par an, et ce chiffre pourrait atteindre 4,8 milliards à 5,7 milliards en 2050 (l'Organisation des Nations Unies pour l'éducation ; 2018)

I-1-2- L'eau dans le monde arabe

L'Arabie Saoudite est le plus grand pays de la péninsule, suivi du Koweït, des Émirats arabes et du Yémen. La région dans sa totalité recouvre environ 3,5 millions de km² et comptait 47 millions d'habitants en 1999. Elle a un caractère aride, une végétation rare, une géographie désertique ou montagneuse et littorale.

L'usage agricole de l'eau est gratuit, par contre l'usage domestique est subventionné et l'utilisateur paie 10 %. L'amélioration du niveau de vie a augmenté la consommation en eau face à une ressource limitée. En effet, plus de 20 à 30 % de celle-ci est destinée aux usages domestiques.

La prévision de la période allant de 2000 à 2010 montre un fort déséquilibre entre l'offre et la demande en eau.

Ces pays ayant très peu de ressources superficielles, l'alternative serait l'exploitation des nappes, le traitement des eaux usées ou le dessalement.

L'exploitation des nappes recouvre 70 % des besoins en eau de la péninsule, le dessalement 11 % et le reste provient des eaux traitées ou superficielles.

Les nappes se trouvent dans les couches géologiques profondes et sont utilisées pour un usage agricole, domestique et pour l'eau potable. Leurs teneurs en sel varient entre 1 200 et 11 000 mg/L; l'eau a donc besoin d'être traitée pour être utilisable.

Il existe des nappes profondes qui contiennent environ 2 000 milliards de m³ d'eau. Le taux de recharge varie entre 3 et 4 milliards de m³/an pour les ressources naturelles.

L'eau extraite est plus importante que l'eau utilisée du fait d'une dégradation en qualité. Le dessalement de l'eau est important depuis quelques années, notamment pour l'eau potable et l'eau domestique, 3,5 milliards de m³/an dans cette région. Les stations de dessalement utilisent une technique multi flash. Elles dépendent en majorité des centrales électriques (80 % de l'eau dessalée). Les 20 % restants sont produits par d'autres stations, moins remarquables du point de vue de la technique.

Dans le monde arabe, le volume total des eaux de surface est estimé à 204 milliards de m³.

I-1-3- L'eau en Algérie

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'A.E.P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays. La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie du nord est évaluée entre 95 et $100 \cdot 10^9 \text{ m}^3$. Plus de $80 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ s'évaporent, $3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ s'infiltrent et $12.5 \cdot 10^9$ s'écoulent dans les cours d'eau. Dans l'Algérie du nord, l'apport principal vient du ruissellement. Les eaux de surface sont stockées dans les barrages. En 2002, l'Algérie dispose de 52 grands barrages d'une capacité de 5,2 milliards de m^3 . Le reste ($7.3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) se déverse directement dans la mer. Le problème de l'eau est aggravé ces dernières années par une sécheresse qui a touché l'ensemble du territoire de notre pays, et qui a montré combien il était nécessaire d'accorder la plus grande attention à l'eau (Rimini, 2010).

I-1-4- Le découpage hydrographique de l'Algérie

Selon le découpage hydrographique, le territoire algérien est divisé en cinq régions hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays (Tableau 1).

Ce nouveau découpage est lié à un certain nombre de conditions :

- ✓ Unité géographique de la ressource en eau superficielle et souterraine dans le bassin versant;
- ✓ Équilibre en ressources en eaux entre les bassins hydrographiques;
- ✓ Équilibre en potentialités humaines entre les régions hydrographiques;
- ✓ Équilibre en nombre et importance d'infrastructures hydrauliques et de transferts entre les régions ;
- ✓ viabilité économique entre les régions (voie de communication, étendue de la région, infrastructures urbaines,...etc.) et répartition équilibrée entre le nombre de Wilayates (Départements administratifs) et leurs importances (Dahmani, 2000).

Tableau.01 : Régions hydrographiques et leurs bassins versants

Bassins hydrographiques	Superficie (km ²)	Bassins versant
Oranie-Chott Chergui	77 169	Côtiers oranais Macta Tafna Chott Chergui
Chélif-Zahrez	56 227	Côtiers Dahra Chélif Chott Zahrez
Algérois-Hodna-Soummam	47 431	Côtiers algérois Sebou Isser Soummam Chott Hodna
Constantinois-Seybouse-Melle gue	44 348	Côtiers constantinois Kébir Rhumel Medjerdah Mellegue Seybouse Hauts Plateaux Constantinois
Sahara	2 018 054	Chott Melghir Sahara

I-1-5- Collecte des eaux de pluie

La conception hydraulique de la collecte et du transport des eaux pluviales consiste dans un premier temps à évaluer le débit des effluents puis à dimensionner les ouvrages, en tenant compte des perspectives d'évolution et du degré de protection contre les inondations.

D'une manière générale, la conception hydraulique doit prendre en considération les critères relatifs :

- aux canalisations
 - ✓ protection contre la mise en pression (dans le cas d'un réseau gravitaire) ;
- au milieu environnant
 - ✓ protection contre les inondations

- ✓ protection contre la pollution

La conception du réseau doit en effet être telle que le milieu récepteur soit protégé contre le dépassement de sa capacité d'autoépuration

Elle doit intégrer les aspects physique, chimique, biochimique, bactériologique, visuel et olfactif (Patrik, 2017).

I-2/ Notion de ressources en eau

Le concept de ressources en eau n'est apparu en occident qu'au début du 20ème siècle à la suite de la prise de conscience de la rareté de l'eau, de son risque de pénurie et de la nécessité de l'évaluer précisément pour la gérer efficacement. Ceci étant pour permettre la mise en place des infrastructures de prélèvement, de stockage et de transport de cette ressource vitale (Andreassian et al ; 2005).

La ressource en eau désigne la quantité d'eau dont dispose, ou peut disposer, un ou un ensemble d'utilisateurs pour couvrir leurs besoins. L'eau de la planète est présentée naturellement sous diverses formes : dans l'atmosphère, sur et sous la surface de la Terre, et au sein des océans.

Les ressources en eau, désignent : « une source potentielle d'approvisionnement en eau permettant de satisfaire des besoins en eau liés à certaines activités humaines, par l'intermédiaire d'actions de prélèvements réalisés à partir d'ouvrages de prélèvement » (Sandre ; 2007)

Selon cette définition, les ressources en eau présente deux dimensions physique et économique. Ils sont mis en jonction par la recherche continue d'une relation qui établit un équilibre entre l'offre et la demande en eau de la nature.

I-3- Classification des ressources en eau

L'eau couvre les trois quarts de la surface de notre planète. Elle constitue les rivières, les eaux souterraines, les lacs, les mers, les océans. Elle est présente dans les sols et constitue les êtres vivants. Sous toutes ses formes de l'eau, on parle du cycle de l'eau. Les fluides jouent un rôle fondamental dans la plupart des processus physicochimiques qui affectent la croûte terrestre ; avec les rivières, les aquifères souterrains occupent une fonction centrale dans ce système. L'homme à recours généralement, pour satisfaire ses propres besoins (production d'eau pour

La consommation humaine) et permettre l'usage de l'eau dans ses diverses activités industrielles et agricoles, à deux types de ressources naturelles :

- Les ressources conventionnelles à savoir les eaux superficielles (de surface) et les eaux souterraines;
- Les ressources non conventionnelles notamment le dessalement de l'eau de mer et l'épuration des eaux usées.

I-3-1- Ressources en eaux conventionnelles

Les ressources en eaux de surface et souterraines sont l'une des richesses capitales du pays. Sa protection et sa bonne gestion sont donc une nécessité. Les pénuries d'eau, par exagération, ont été plus souvent associées à certains phénomènes naturels (désertifications, changements climatiques) (Ahmed Amar, 2013).

Il s'agit ici d'eau provenant de sources d'eau douce, de rivière, de puits, de retenues et barrages, de lacs et ruisseaux, de forages, de l'eau qu'on peut tout simplement utiliser à l'état naturel même si celle-ci a subi une légère déminéralisation. Les ressources conventionnelles dont les techniques de mobilisation sont classiques déjà éprouvées, et qui portent sur les prélèvement de l'eau de l'environnement à l'aide des barrages, des forages et d'autre moyens, actuellement généralisé de par le monde. Les ressources conventionnelles se subdivisent en deux catégories : les eaux superficielles et les eaux souterraines.

Toute gestion durable des ressources en eau dépend étroitement de notre capacité à les évaluer d'une façon fiable. L'évaluation des ressources en eau est définie comme la "détermination des sources, de l'étendue, de la fiabilité et de la qualité des ressources en eau en vue de leur utilisation et de leur maîtrise". Les ressources en eau sont définies comme "l'ensemble des eaux disponibles, ou que l'on peut mobiliser, pour satisfaire en quantité et en qualité une demande donnée en un lieu donné, pendant une période appropriée" (Brahmia et Chaab, 2013).

I-3-1-1- Evaluation de la ressource en eau souterraines

Les eaux souterraines constituent une source importante d'eau potable pour de nombreuses personnes à travers le monde, notamment dans les zones rurales. Les eaux souterraines peuvent être contaminées à partir de sources naturelles ou de nombreux types d'activités

Humaines. Les activités résidentielles, municipales, commerciales, industrielles et agricoles peuvent aussi affecter la qualité des eaux souterraines (Boudjenane I et Maarouf, 2014).

Dans ce contexte, la région du Haut Cheliff renferme une importante ressource en eau souterraine, alimentant l'ensemble de la population de la région, et contribuant à la satisfaction des besoins de l'irrigation et de l'industrie. Elle est journalière ment confrontée au risque grandissant de la contamination provenant des activités industrielles, agricoles ainsi que des effluents domestiques rejetés souvent sans épuration (Ikhlef, 2005).

I-3-1-1-a/ Constituants des eaux souterraines

Les eaux souterraines contiennent des molécules d'eau autour desquelles sont dissous des ions (majeurs, mineurs, et traces), des gaz dissous (oxygène, gaz carbonique) et parfois de la matière organique dissoute. Les origines de ces composants sont diverses et proviennent de sources naturelles ou anthropiques (déchets, activités industrielles, agriculture, mines...). Si certains de ces composants présentent un danger pour la santé humaine et pour l'environnement, ils sont considérés comme des polluants. (Brgm ,2004).

I-3-1-2/ Evaluation de la ressource en eau superficielle

Les eaux de surface sont de plus en plus utilisées ces dernières années pour les besoins de l'agriculture, de l'alimentation des populations et de l'industrie. Des investissements considérables ont été consacrés à la construction des barrages, ces eaux de surface sont vulnérables face aux diverses pollutions et sont souvent de qualité médiocre. Elles peuvent contenir des quantités non négligeables en matières organiques naturelles telles que les substances humiques mais aussi des composés organiques issus de divers rejets polluants ou de pratiques agricoles intensives (Allalgua et al, 2017).

Les dernières décennies, l'Algérie a été soumise à une sécheresse intense qui touche le nord d'une manière générale et donc l'utilisation des eaux de surface s'avère une nécessité incontournable, les eaux souterraines étant très limitées, Cette situation est le résultat de l'accroissement démographique, de l'extension, de ce fait et en dehors de toute politique de protection de l'environnement, la ressource en eau de surface se trouve exposée à des risques potentiels d'altérations chroniques ou épisodiques. Cette situation est en partie due

Aux rejets urbains et industriels qui sont souvent déversés directement dans les cours d'eau (Mohamed Zine, 2017).

I-3-2 / Ressources en eau non conventionnelle

Les ressources en eau non conventionnelle ou ressource palliative représente environ 5 % de ressources produite en Algérie si ressources sont répartis comme suit:

- ✓ Dessalement d'eau de mer pour l'alimentation en eau potable
- ✓ Déminéralisation des eaux saumâtres
- ✓ Eaux usés et épurée pour les rides sur essentiellement

Le recours ou dessalement d'eau de mer pour compenser les déficits en eau est devenue une alternative incontournable, au cours de la première décennie des années 2000.

Concernant la réutilisation des eaux usées épurées, l'AGIR dans le cadre de ses missions s'intéresse de très près à l'évolution de cette démarche au niveau national. Une approche a été effectuée pour évaluer le temps d'utilisation des eaux usées épurées dans différents domaines et à montrer que ces niveaux sont très faible.

C'est résultats ont montrer qu'un grand travail de sensibilisation aux droits des usagers pour améliorer leur acceptabilité recours à ce type de ressources dans l'irrigation ,d'une part et d'autre part, à trouver des formes de financement l'exploitation de ces projets. (AGIR, 2020)

Les zones arides et semi arides en Algérie sont caractérisées souvent par des faibles précipitations, des températures élevées et des évapotranspirations très importantes de plus, il existe plus d'une centaine de barrages qui ne sont plus capables de retenir complètement l'eau qu'ils accumulent à cause de l'envasement qui ne cesse de prendre de l'ampleur. La réutilisation des eaux usées épurées est une pratique très répandue dans les régions du monde affectées par des pénuries de ressources en eau. C'est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler les déficits hydriques (Sekkoum et al, 2012).

Face aux manques d'eau sans cesse croissant et la rareté des précipitations, l'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles s'avère comme étant l'une des solutions non conventionnelles susceptibles de résoudre ne serait-ce que partiellement le problème de manque d'eau d'irrigation dans la région et d'alléger le déficit hydrique enregistré.

La réutilisation des eaux usées épurées (REUE) est une action volontaire et planifiée qui vise la production de quantités complémentaires en eau pour différents usages. Elle permet d'exploiter une ressource additionnelle non négligeable. C'est une option à développer avant de recourir à des méthodes plus coûteuses telle que le dessalement de l'eau de mer ou le transfert l'eau entre régions.

I-3-2-1/ Les eaux épurées

Plus de 7 milliards d'habitants sur la planète rejettent toutes sortes d'eaux usées (le drainage agricole, les rejets urbains et industriels). Une grande partie d'entre elles peuvent être récupérées par une opération de recyclage dite l'épuration.

Cette opération permet l'augmentation des potentiels en ressources hydriques mais surtout limite les impacts négatifs sur l'environnement (pollution, dégradation de la qualité des sols). Jouant un rôle de substitue d'eau douce et protectrice de l'environnement, l'eau épurée est utilisée dans l'industrie, l'irrigation et l'aquiculture. L'eau traitée dans les stations d'épuration provient des trois composants : eaux usées domestiques, urbaines et des eaux résiduelles industrielles.

I-3-2-1-a/ Réutilisation des eaux usées urbaines épurées

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées et non seulement de fournir des quantités supplémentaire de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturel de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition cette réutilisation est une action volontaire est planifié qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler les déficits hydrique. Aujourd'hui, la stratégie nationale du développement durable en Algérie se matérialise particulièrement à travers un plan stratégique qui réunit trois dimensions à savoir : social, économique et environnemental.

Utilisation des eaux usées épurées sont:

Utilisation Agricole irrigation: La plus répondu permettant d'exploiter la matière fertilisante contenue dans ses eaux réalisant ainsi une économie d'engrais.

Utilisation municipale: Arrosage des espaces verts lavage des rues alimentation de plan d'eau lutte contre les incendies l'arrosage des terrains de golf des chantiers de travaux publics arrosage pour compactage de base des routes et autoroutes.

Utilisation industrielle: Refroidissement

Amélioration des ressources: Recharge des nappes pour la lutte contre les rabattements des nappes et la protection contre l'intrusion des biseaux salés en bord de mer. (Agir,2020)

I-4- Conclusions sur les ressources en eau

Les ressources en eau subissent de nombreuses pressions. Il nous faut encore acquérir davantage d'informations fiables sur la qualité et la quantité d'eau disponible ainsi que sur la manière dont cette disponibilité varie dans le temps et d'un endroit à l'autre. Les activités humaines influent de bien des façons sur le cycle de l'eau, et leur impact doit être compris et quantifié afin de gérer les ressources en eau de manière responsable et durable. Il est devenu évident que :

- les changements climatiques ont une incidence sur la disponibilité en eau.
- la pollution, les déviations de cours d'eau et les incertitudes quant à la quantité d'eau disponible menacent la croissance économique, l'environnement et la santé.
- les nappes phréatiques sont souvent surexploitées et polluées.
- des technologies plus récentes, telles que le dessalement et la réutilisation de l'eau, viennent aujourd'hui s'ajouter aux techniques traditionnelles – comme la collecte des eaux de pluie – pour augmenter l'approvisionnement en eau.
- un soutien politique est nécessaire afin d'améliorer la collecte d'information qui, à son tour, pourra favoriser de meilleures décisions quant à la gestion et à l'utilisation de l'eau.

II Introduction

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 Algérie, une large part d'une pluviométrie très irrégulière et inégalement répartie dans l'espace et dans le temps, il est nécessaire de connaître l'évolution et la variabilité récentes du climat dans les régions aride et semi-aride. Pour mieux comprendre l'irrégularité des précipitations et estimer les conséquences telles que les inondations et les sécheresses extrêmes qui peuvent provoquer des pertes économiques et des dommages écologiques et environnementaux.

II.1. Variabilité dans le temps

L'Algérie est un des pays arides à semi-arides les plus exposés au phénomène de changement climatique (Bakreti et *al.* 2013). La pluviosité limitée sur sa zone côtière, incertaine, voire inexistante vers le sud, est particulièrement exposée aux effets négatifs du réchauffement climatique. La tendance est à la baisse depuis 1975 et la phase ascendante des pluies n'est pas encore prête d'être amorcée (Boucherf, 2012). Le pays a subi durant son histoire de nombreuses périodes de sécheresse d'ampleur variable.

Certaines ont eu des répercussions parfois dramatiques sur les conditions de vie de la population, notamment rurale (1943-1948); les sécheresses les plus sévères et les plus persistantes sont celles relevées durant les années 1980 à 1990 où le déficit pluviométrique a été estimé à 50 % pour les régions du centre et de l'ouest de l'Algérie et à 30 % à l'est (Kettab et *al.* 2004).

II.1.1. Variabilité pluviométrique annuelle, saisonnière et mensuelle

La pluviométrie annuelle est une variable très couramment étudiée pour caractériser l'évolution climatique en Afrique. Toutes les études sont unanimes à dire que les cumuls pluviométriques annuels des décennies 1970 et 1980 se singularisent par une diminution sensible de la pluviométrie en Afrique de l'ouest et centrale.

Selon Sircoulon et ülivry (1986), la sécheresse a entraîné au Sahel une migration vers le sud des isohyètes 300, 400 et 500 mm. Le déplacement de ces courbes isohyètes s'est effectué sur près de 100 à 200 km, par rapport aux isohyètes établies à partir de la normale 1931-1960.

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

II.1.2. Calcul des récurrences

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

Le calcul de la récurrence pour les périodes de dix (10) ans, cinquante (50) ans, cent (100) ans revient à déterminer le volume des précipitations susceptible d'être atteint dans les périodes considérées. (Khaldi, 2005).

L'équation de la période de récurrence donnée est

$$P = X + \sigma \cdot U$$

a. Calcul du module décennal sec

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

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

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

c. Calcul du module centenaire sec

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

II.1.3. Calcul du module humide

$$P = X + \sigma \cdot U$$

a. Calcul du module décennal humide

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

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

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

c. Calcul du module centenaire humide

Il correspond à une fréquence d'espacement de **0,99** à laquelle correspond $U = 2,33$ pour la variable réduite de Gauss. (Klein et al, 2003)

II.1.4. Récurrence du module théorique le plus fort

$$\text{On a : } T' = 1 / 1 - F$$

Avec :

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

F : fréquence ;

II.1.5. Récurrence du module théorique le plus faible

$$T = 1 / F$$

II.2. Notion de la sécheresse**II.2.1. Définition de la sécheresse**

Une sécheresse peut être définie comme une période de précipitations prolongées, normalement une ou plusieurs saisons, qui causent un déficit d'eau dans certains secteurs de l'économie d'un pays. La sécheresse doit être considérée par rapport :

- A certaines conditions à long terme du bilan final des précipitations et de l'évapotranspiration dans une région particulière.
- A l'échelle temporelle.
- A l'efficacité des précipitations.

Evidemment la combinaison avec d'autres facteurs climatiques comme des facteurs élevés de température et de vent, et des valeurs peu élevées de l'humidité relative pourrait rendre le facteur sécheresse plus grave. (FAO, 1996)

II.2.2. Les type de sécheresse

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

II.2.2.1. La sécheresse de type météorologique

Elle est généralement définie par un seuil correspondant à un certain déficit de précipitations sur une période de temps déterminée. Le seuil choisi (par exemple 75 % de la normale) et la durée de la période (par exemple six mois) varient d'un endroit à l'autre selon les besoins des utilisateurs ou les applications concernées.

La sécheresse de type météorologique est un phénomène naturel dû à des causes multiples, qui varient d'une région à l'autre. (OMM, 2006)

a. Caractérisation de la sécheresse météorologique

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

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

Afin de caractériser la sécheresse de notre région d'étude nous utiliserons les indices de sécheresse et les indices de sévérité. (Diarra, 2006)

II.2.2.2. La sécheresse de type agricole

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

II.2.2.3. La sécheresse de type hydrologique

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

II.2.2.4. La sécheresse socio-économique

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

II.2.3. Relation entre les différents types de sécheresse

Les relations entre ces différents types de sécheresse sont illustrées par la figure 01.

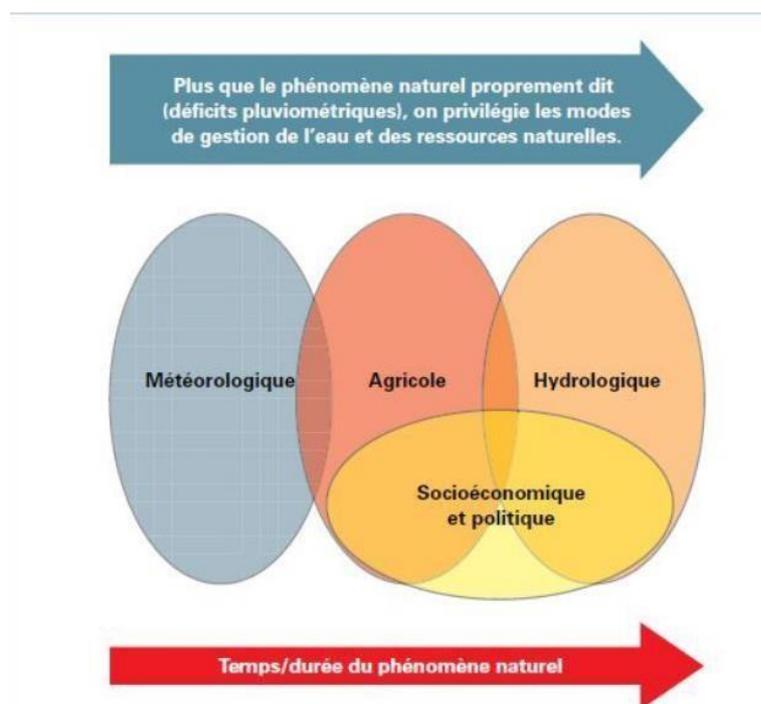


Figure 01 : Relation entre les différents types de sécheresse (Source : Centre national de lutte Contre la sécheresse, Université du Nebraska Lincoln, États-Unis d'Amérique)

II.2.4. Indices de sécheresses

Pour caractériser et identifier la sécheresse, plusieurs indices sont utilisés. (Beran et al ; 1987)

II.2.5. Impacte de la sécheresse sur les ressources en eau en Algérie

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20ème siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle estimé à plus de 1°C avec une tendance accentuée les trente dernières années. Les modèles de circulation générale convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2°C à 4°C durant le 21ème siècle. Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord. Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts significatifs, liés entre autres à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes. D'autres impacts sont étudiés : la perte de biodiversité et la dégradation d'écosystèmes, la hausse du risque de famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé (Nichan et Khelil, 2015).

Dans la gestion de la sécheresse par le secteur des Ressources en Eau l'aspect gestion de crise prédomine avec une gestion sectorielle de la pénurie. Les actions d'atténuation sont prises en charge au niveau national et local par des comités formés pour la circonstance et composés principalement de l'ANRH, de l'ANBT, des structures centrales et décentralisées de l'hydraulique et des sociétés de distribution d'eau (Mohamed, 2019).

Les comités ont pour tâches :

1. La collecte des données en temps réel de certains indicateurs,
 - Apports aux barrages,
 - Potentialités en eaux souterraines
 - État de la distribution en eau.
2. La proposition de solutions d'urgence adéquates (lancement de campagnes d'appoint de forages, programmes de coupure en AEP et irrigation, etc.).

Cette approche fut usitée en 1982 et en 2002 pour l'alimentation de la ville d'Alger, avec un ensemble de mesures urgentes à même de gérer la pénurie en eau potable induite par la sécheresse par :

- La réalisation de forages complémentaires,
- L'interconnexion du réseau AEP de la ville avec les barrages situés à plus de 100 km à l'Ouest de la capitale,
- Lancement de stations de dessalement de l'eau
- Organisation de la distribution de l'eau par camions citernes dans les quartiers les plus touchés.

L'ANRH, sur financement de la Banque Africaine de développement a lancé récemment une étude d'homogénéisation de ses différentes bases de données (hydrologie, hydrogéologie, sols, chimie des eaux et des sols) et la modernisation de ses postes d'observation et de mesure, bases qui seraient d'un grand apport dans la gestion des risques de sécheresse (Mohamed, 2019).

Au niveau de l'ANBT des efforts importants ont été réalisés ces deux dernières décennies en transferts d'interconnexion entre barrages dans le souci de pallier aux pénuries et toutes crises induites par les sécheresses. L'ANBT dispose par ailleurs de stations climatiques et de mesure des apports en eau au niveau de tous les barrages (Mohamed, 2019).

II.3. Variabilité spatiale

II.3.1. Coefficient de variation (CV)

C'est le rapport de l'écart type sur la moyenne. Le coefficient de variation marque numériquement l'importance du degré de variabilité des moyennes pluviométriques dans les séries ainsi que la dispersion en nombre des valeurs autour de la moyenne, plus ce nombre est grand, plus la dispersion est forte, il permet aussi de mieux comprendre la variabilité de la pluviosité et l'irrégularité des pluies. Le coefficient de variation étant inférieur à 0,5 pour les quatre stations alors on pourra procéder au calcul du Khi deux. (Lubes-Niel, 1998)

II.3.2. Krigeage (interpolation méthodes)

Le Krigeage est une technique géostatistique de modélisation spatiale permettant, à partir de données dispersées, d'obtenir une représentation homogène des informations étudiées. Dans l'analyse de la pollution atmosphérique, on ne dispose que d'un certain nombre stations de mesures qui vont fournir les données. Le Krigeage nous permettra donc, à l'aide des mesures de concentrations obtenues en stations, d'estimer les concentrations hors station. Il sera alors possible de créer une carte étendant les relevés à tout l'espace. D'autres techniques géostatistiques permettent de faire ce

Travail mais le Krigeage a l'avantage de prendre en compte les distances entre les données (i.e. les stations de mesure), les distances entre les données et la cible (i.e. le point pour lequel on veut estimer la mesure) et la structure spatiale (grâce à l'analyse variographique).

Les méthodes statistiques classiques telles que la régression linéaire se basent sur une hypothèse fondamentale qui est l'indépendance des variables. Or, lorsqu'une variable est spatialement auto corrélée, cette hypothèse n'est plus vérifiée. Ainsi, le Krigeage va se baser sur cette nouvelle hypothèse : l'autocorrélation spatiale des données. Concrètement, cela signifie que deux données rapprochées dans l'espace tendent à posséder des caractéristiques similaires.

Dans la théorie de l'interpolation spatiale, la région de l'espace géographique concernée par l'étude est appelée «champ», notée D . La variable régionalisée que l'on étudie est vue comme une réalisation d'une fonction aléatoire $\{Z(s), s \in D\}$ et toute valeur régionalisée $z(s)$ est considérée comme une réalisation d'une variable aléatoire $Z(s)$

Le modèle de base du Krigeage a la même forme que le modèle de régression classique mais les erreurs sont maintenant supposées dépendantes spatialement. Il s'énonce de la façon suivante :

$$Z(s) = \mu(s) + \delta(s) \quad \forall s \in D$$

Où :

- $\mu(\cdot)$ constitue la structure déterministe pour l'espérance de Z .
- $\delta(\cdot)$ est une fonction aléatoire stationnaire

L'idée de base du krigeage est de prévoir la valeur d'une variable régionalisée z en un site non échantillonné s_0 par une combinaison linéaire des données ponctuelles adjacentes. On veut une estimation non biaisée et de variance minimale.

Le Krigeage est une méthode d'interpolation exacte c'est-à-dire qu'il restitue les valeurs régionalisées mesurées aux sites d'observations. Il ne sera donc pas possible d'analyser directement les résidus du modèles (car ils seront tous nuls).

II.4. Les indices pluviométriques

II.4.1. Indice de l'écart à la moyenne (Em)

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

$$E_m = P_i - P_m$$

Avec : **Pi** : pluie annuelle.

Pm : pluie moyenne annuelle.

L'écart à la moyenne est la différence entre la hauteur de précipitation annuelle (P_i) et la hauteur moyenne annuelle de précipitation (P_m), cet indice permet de faire une classification globale, si l'écart est positif cela indique les années humides et négatif indique les années sèches, on parle d'années déficitaire quand la pluie est inférieure à la moyenne est d'année excédentaire quand la moyenne est dépassée. (El mahi, 2002)

II.4.2. Indice de pluviosité (IP)

C'est le rapport de la hauteur de précipitation annuelle à la hauteur moyenne annuelle de précipitation. Une année est qualifiée d'humide si ce rapport est supérieur à 1 et de sèche s'il est inférieur à 1. (Elouissi, 1992)

$$IP = P_i / P_m$$

a- Distribution selon les fréquences

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

Tableau 02: Distribution selon les fréquences

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

Si l'écart à la moyenne (Em) et l'indice de pluviosité (IP) nous indiquent simplement les années sèches et les années humides ainsi que les tendances générales, l'analyse fréquentielle nous permet en revanche de distinguer parmi les années sèches celles qui sont les plus déficitaires. (Touaïbia et al ; 2006)

II.4.3. Indices de sévérité

En plus de l'identification des fréquences sèches et de leur caractérisation par le calcul de ces indices, il est possible de déterminer l'ampleur de la sécheresse en termes de sévérité. (Siew-Yan-Yu et al ; 1998)

II.4.4. Rapport à la normale des précipitations (RN)

Cet indice est exprimé mathématiquement en pourcentage comme suit :

$$RN(\%) = (P_i/P_m) \times 100 \quad (2)$$

P_i est la précipitation de l'année i et P_m est la précipitation moyenne pour la même période de temps étudiée. Ce rapport permet une estimation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale : Une année est classifiée comme sèche si la pluviométrie se situe au-dessous de la normale ; c'est-à-dire lorsque le RN est inférieur à 100 % (Rognon, 1997).

II.4.5. Indice de déficit pluviométrique (Indice de l'écart à la normale (En))

Pour situer une pluviométrie dans une longue série de relevés pluviométriques, on utilise l'écart proportionnel à la moyenne. Elle s'exprime par la formule suivante :

$$IDP(\%) = (P_i - P_m)/P_m \times 100 \quad (3)$$

Où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage).

P_i : précipitation annuelle (en mm).

P_m : précipitation moyenne (en mm).

Cet indice nommé aussi Ecart à la normale, permet de visualiser et de déterminer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifiée d'humide si cet indice est positif de sèche lorsqu'il est négatif.

Le cumul des indices d'années successives permet de dégager les grandes tendances en faisant abstraction des faibles fluctuations d'une année à l'autre. Quand la somme des écarts croît, il s'agit d'une tendance humide. La tendance est de type « sèche » dans le cas contraire.

II.4.5.1. Méthode des écarts types

Cet indice peut être calculé par la comparaison de la pluie moyenne annuelle (P_m) au nombre d'écart types (σ).

Lorsque P_i est inférieur à $P_m - \sigma$, on parle d'une sécheresse forte. Il s'agit d'une sécheresse très sévère si P_i est inférieur à $P_m - 2\sigma$. (Khaldi ; 2005)

Tableau 03: Les différentes classes de l'indice du nombre d'écart type

Type de sécheresse	Critère de comparaison
Modéré	$P_m - \sigma < P_i < P_m$
Forte	$P_m - 2\sigma < P_i < P_m - \sigma$
Très sévère	$P_i < P_m - 2\sigma$

Cette méthode a été employée à l'échelle annuelle vu que cette distribution suit une loi normale (la condition de normalité est vérifiée par le test de normalité de Shapiro Wilk).

Pour un niveau de confiance $(1 - \alpha)$ de 95 % on calcule les bornes inférieures et supérieures. la formulation de l'intervalle de confiance autour d'une moyenne observée X avec un écart type observé sur un échantillon de taille n est calculé comme suit :

$$I_c = [X - t_{\alpha} * (\sigma / n^{1/2}); +t_{\alpha} * (\sigma / n^{1/2})]$$

X : moyenne estimée

T_{α} : Valeur de la loi Normale

σ / \sqrt{n} : Erreur type

σ : Ecart type de l'échantillon

N : Taille de l'échantillon

On considère la borne de confiance inférieure comme seuil de sécheresse, autrement dit une année est qualifiée comme climatiquement sèche s'elle enregistre une quantité de précipitations inférieure à la borne de confiance inférieure, et normale si la quantité de précipitations enregistrée est comprise entre la limite inférieure et supérieure alors qu'une période est dite humide si la pluie enregistré dépasse la limite supérieure.

II.4.6. Indice standardisé de précipitation SPI

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) a adopté l'Indice de précipitations normalisé (SPI) en 2009 comme instrument mondial pour mesurer les sécheresses météorologiques, aux termes de la « Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse ». L'OMM en promeut l'utilisation par les services nationaux météorologiques et hydrologiques en association avec d'autres indices utilisés dans chaque région et l'instrument sera soumis à l'approbation du Congrès météorologique mondial lors de sa seizième session en juin 2011.

L'indice standardisé de précipitation « SPI» (standardisé précipitation index) a été développé en 1993 en vue de caractériser les déficits de précipitation pour une période donnée. Il reflète l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différentes ressources en eau. La principale contribution de cet indice est l'établissement très précis de la durée de la sécheresse. (Bouanani. 2005)

L'Indice de précipitations normalisé (McKee et *al.* 1993 ; 1995) est un indice simple, puissant et souple à la fois basé sur des données pluviométriques et il permet tout aussi bien de vérifier les périodes/cycles humides que les périodes/cycles secs. Le SPI compare les précipitations sur une certaine période – en principe 1 à 24 mois – à la moyenne à long terme de précipitations observée sur le même site (Gutmann, 1994; Edwards et *al.*, 1997).

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

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

P_i : Précipitation de l'année i

P_m : Précipitation moyenne

σ : Déviation standard ou écart type

On effectue une classification de la sécheresse suivant les valeurs des SPI cité dans le tableau 04.

Tableau 04: classe de distribution des années selon SPI

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

II.5. Conclusion

Le climat de l'Algérie est marqué par une irrégularité des précipitations aussi bien au pas de temps saisonnier qu'annuel. Au cours des 30 dernières années, l'Algérie a connu une importante variabilité spatiale et temporelle des précipitations. Cette évolution, caractérisée par d'importants déficits pluviométriques, a impacté négativement le régime d'écoulement de l'oued, l'alimentation des nappes phréatiques et les niveaux de stockage des barrages, dont les conséquences sont souvent catastrophiques pour le développement de l'économie nationale.

III. Introduction

L'Algérie est un pays de la zone subtropicale du Nord-africain. Son climat est très différent entre les régions (Nord-Sud, Est-Ouest). Il est de type méditerranéen sur toute la frange nord qui englobe le littoral et l'atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'atlas saharien. En Algérie les précipitations sont caractérisées par une variabilité spatio-temporelle très marquante.

III.1 Situation géographique de la région d'étude.**III.1.1 Présentation de la région d'étude**

La plaine du Haut Cheliff est située entre 36°12' et 36°30' de latitude Nord et 2°02' et 2°44' de longitude Est. Elle est limitée au Nord par les calcaires dolomitiques du djebel Zaccar (1578m d'altitude) et les grès de djebel Gantas, et au Sud par les premiers contreforts du massif de l'Ouarsenis marno-argilo-gréseux (figure n°02). On y pénètre à l'Est par le seuil de Djendel à 308m d'altitude et on en sort à l'Ouest par le seuil de Doui à 248m (Mania 1990).

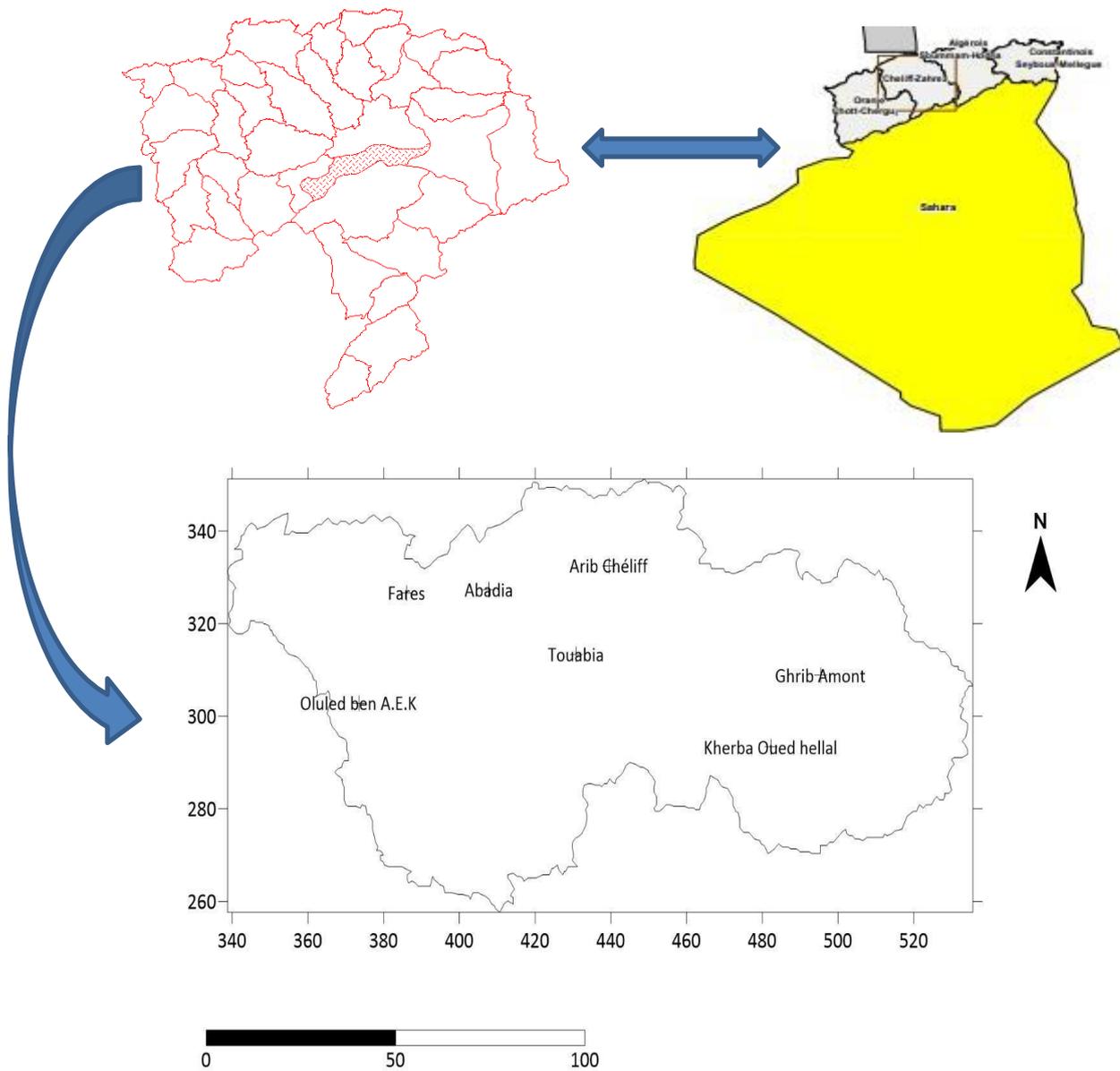


Figure 02 : carte de situation de la zone d'étude

III.1.2 Réseau hydrographique

La plaine du Haut Cheliff est traversée d'Est en Ouest par Oued Cheliff et ses principaux affluents qui sont Oued Rihane et Boutane au Nord, Deurdeur, Massine et Harreza au Sud (Meziani *et al.*, 2013).

Oued Souffay : il collecte les eaux provenant des précipitations qui ont lieu sur le mont du Zaccar. Dans la partie nord du secteur d'étude, il reçoit les eaux usées de ville de Khemis Miliana.

Oued Boutane : cet Oued collecte dans sa partie nord l'ensemble des eaux provenant des monts de Zaccar et dans la zone Ouest de la ville de Khemis Miliana puis s'écoule au niveau de la plaine où il présente de temps à autre des intercommunications avec la nappe alluviale justifiées par des études piézométriques, à l'Ouest du secteur d'étude il rejoint l'Oued Cheliff.

Oued Deurdeur : il prend sa source dans les monts d'Ouarsenis dans la partie sud du secteur d'étude, il rejoint la plaine du Khemis Miliana où est drainé par l'Oued Cheliff.

Oued Harreza : il prend sa naissance dans la partie sud dans les monts de l'Ouarsenis, il est caractérisé de ses débits plus élevés par rapport aux Oueds de la région du fait de l'importance de sa surface d'impluvium, il rejoint l'Oued Cheliff en aval.

Toutes les eaux issues des principaux affluents représentés par les Oueds de : Boutane (au Nord), et Oued Deurdeur et Harreza (au Sud), sont collectés en direction du centre de la plaine du Cheliff vers le principal Oued en question ; ce dernier draine toutes les eaux du bassin versant du Cheliff vers l'exutoire.

L'Oued Cheliff qui résulte de la réunion de ces cours d'eau, franchit une coupure entre Boughari et Boughar et abandonne les hauts plateaux pour pénétrer dans le tell. De Boughari Amoura (Dollfus Ville), il coule dans de profondes gorges et à partir des Djebels, suit la plaine d'Est en Ouest.

Enfin, après avoir séparé le plateau de Mostaganem de celui d'Ouillis (Abdelmalek Ramdane), le Cheliff déverse ses eaux la mer après un trajet de plus de 700 Km (Meziani *et al.*, 2013)

III.2 Caractéristiques morphométriques

Les différents paramètres morphométriques du bassin (forme, altitude, pente, relief, etc..) interviennent, et souvent de façon combinée, dans les modèles de l'écoulement. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée, mais l'emploi des méthodes de mesure correspondantes doit être mené avec prudence, vu l'extrême interférence des facteurs physiques et l'influence, parfois prononcée, de certains paramètres qu'il est difficile d'exprimer par les méthodes précises et définies.

III.2.1. Forme des bassins**III.2.1.1. Indice de compacité de Gravilius (Kc)**

L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard.

Le contour d'un bassin versant enferme une superficie S, qui a une certaine forme, laquelle va avoir une influence sur l'écoulement global et sur l'allure de l'hydrogramme résultant d'une pluie donnée. Un bassin longiligne ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme arrondie (Laborde J.P., 1993).

$$KC = \frac{P}{2\sqrt{A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (1)$$

Avec :

KC : indice de compacité de Gravélius

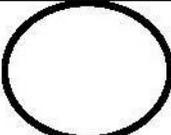
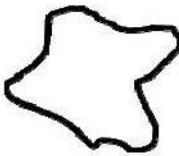
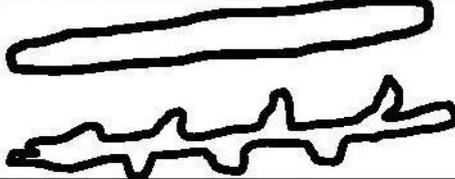
A : surface du bassin versant (km²)

P : périmètre du bassin versant (km)

Plus (KC) s'approche de l'unité, plus le bassin serait ramassé et le temps de concentration serait Plus court (Roche 1963).

Les valeurs de l'indice de compacité (Tableau n° 05) montrent que tous les sous bassins sont Allongés, dont l'indice de forme reste élevé (varie entre 1,33 et 1,78) (tableau 05)

Tableau 05 : Classes de formes des bassins (Barké et al. 2022)

Forme	Valeurs de l'indice	Définition	Schéma stylisé
Circulaire	1 à 1,03	Cuvettes ayant la forme de cercle	
Ovoïde	1,03 à 1,3	Cuvettes ovoïdes	
Amiboïde	1,3 à 1,4	Cuvettes caractérisées par une association de plages irrégulières, lobées, d'aspect amiboïde, à contours nets, très contrastés	
Étirée	1,4 à 1,7	Cuvettes allongées	
Très étirée à tendance amiboïde	> 1,7	Cuvettes plus étirées que les précédentes. Elles présentent souvent des fragments amiboïdes c'est-à-dire des contours lobés	

Il n'en demeure pas moins que les sous bassins de la région d'étude (Haut Cheliff) présentent, dans l'ensemble, des formes assez allongées favorisant un écoulement lent des eaux de ruissellement. Mais L'influence du relief reste plus déterminante.

Tableau 06 : indice de compacité par sous bassin versant

Bassins	Code sous bassin	Nom sous bassin	Superficie (Km ²)	Périmètre (Km)	Indice de capacité (Kc)	Forme
Haut Cheliff	0112	Oued Cheliff tikgale	587.7	151.3	1.73	Très étiré a tendance amiboide
	0114	Oued Cheliff Ghrib	1383.69	176.81	1.33	Amiboïde
	0116	Oued Dreuteur	857.64	185.65	1.78	Très étiré a tendance amiboide
	0117	Oued Cheliff Harraza	743.97	142.68	1.46	Etirée
	0119	Oued Rouina Zeddine	898.54	173.69	1.62	Etirée
	0120	Oued Cheliff Tikazale	587.7	151.3	1.73	Très étiré a tendance amiboide
	0122	Oued Ras ouabrame	1438	225.5	1.66	Etirée
	0123	Oued sly	1404	221.2	1.65	Etirée
	0125	Oued Tiguigest	1618	197.1	1.37	Amiboïde

I.3 Paramètres Climatologiques

Les plaines du Cheliff malgré leur relative proximité de la mer (50Kmenviron), se caractérise climat semi-aride. Généralement, on assiste à un été long chaud et sec, à des hivers pluvieux et des automnes et des printemps très courts. Cette classification du climat se base sur le météorologiques des stations régionales de l'anrh.

I.3.1 Etude des précipitations

Pour cette étude, nous avons pris en considérations les valeurs annuelles et mensuelles des précipitations des trois stations, la station de Djenen Ben Ouadah situé en amont du bassin station d'Arib cheliff.et Ababsa au milieu du bassin.

Tableau 07 : caractéristique des stations pluviométriques

Station	Code	X	Y	Z	Les données disponibles
Touabia	011901	430.85	313.35	350	1975-2019
Ghrib amont	011407	495.45	308.8	435	1976-2014
Kherba oued hellal	011604	482.25	293.3	1240	1975-2015
Elabadia	012001	407.85	327.3	162	1975-2019
Arib Chélif	011702	439.5	332.55	230	1975-2019
FARES	012201	368.1	326.26	116	1975_2019
Oued Lilli	012507	370.8	246.9	570	1975_2015
Ouled ben A.E.K	012308	373.4	302.85	240	1975_2019

Source: (ANRH, 2022)

a. Précipitation mensuelles

Les moyennes mensuelles des précipitations varient de l'amont vers l'aval, en effet plus on se dirige vers l'aval du bassin ; plus la moyennes des précipitations mensuelles diminuent.

Pour les huit stations, les mois pluvieux s'étend d'Octobre à Avril, les mois de Mai, juin, juillet, Aout et septembre présentent des pluies faibles.

Tableau 08 : Présentation des stations pluviométriques (1975 2012).

Station	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou	Annuelle
Ghrib Amont	23,79	41,6	60	67,66	64,8	53,9	49,1	55,6	44,8	6,06	4,18	4,30	475
Kherba Oued hellal	16,49	31,7	35,2	41,45	39,2	35,1	31,2	36,6	30,9	6,54	3,13	4,16	311
Arib chéllif	7,43	35,7	59,5	59,58	60,5	61,9	49,2	40,2	27,3	6,96	1,16	3,50	423

Source : (ANRH, 2022)

La moyenne des précipitations mensuelles au niveau de la station d'Arib Chéllif est de 35.25 mm pour la période de 1975 à 2012.

La moyenne mensuelle des précipitations à la station de Ghrib Amont relative à la période (1975/2012) est de (39.64 mm), et de (25.99 mm) pour la station de Kherba Oued hellal.

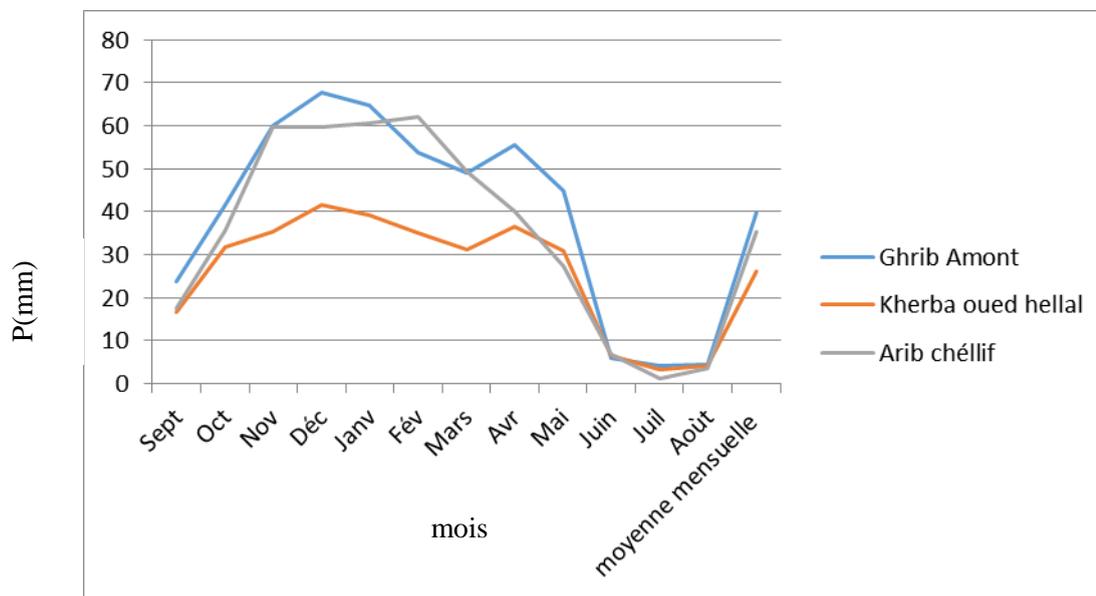


Figure 04 : Evolution des hauteurs moyennes mensuelles des précipitations

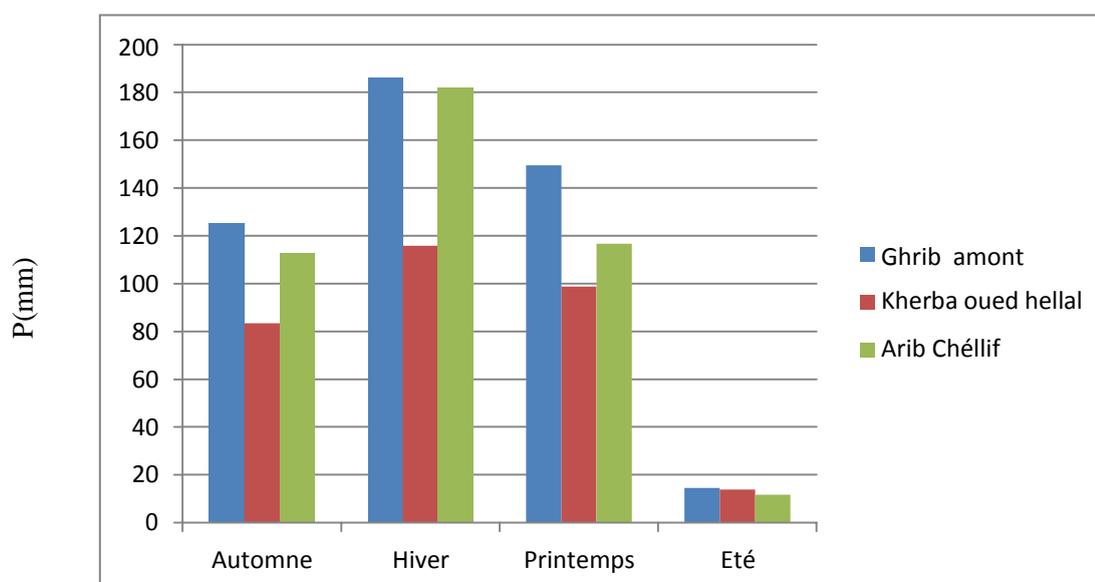
b. Précipitations saisonnières

La distribution saisonnière des précipitations (figure 4), montre que l'hiver est la saison la plus humide, tandis que la période d'été est la moins pluvieuse. D'une manière générale, nous remarquons pour les trois stations, une période relativement pluvieuse regroupant les saisons d'automne, d'hiver et de printemps et une saison sèche en été.

Tableau 09 : Distribution saisonnières des précipitations moyennes

Station	Automne	Hiver	Printemps	Eté	Annuelle
Ghrib amont	125,3	186,3	149,5	14,5	475,7
Kherba oued hellal	83,4	115,8	98,7	13,8	311,9
Arib Chélif	112,7	182,0	116,6	11,6	423

Source : (ANRH, 2022)

**Figure 05**: Contribution saisonnière des précipitations (1975-2012)

A titre d'exemple, pour la station Ghrib amont, le régime pluviométrique est de type hiver-printemps-automne-été (Hpae).

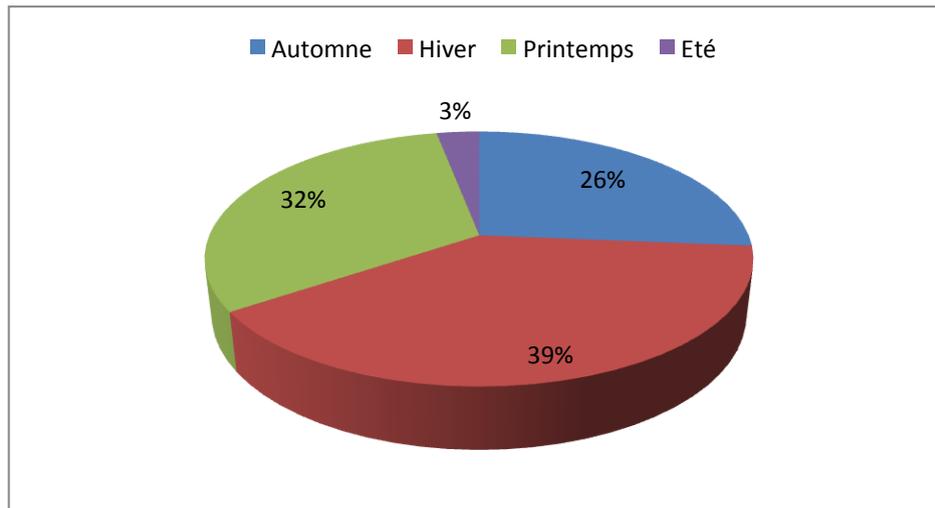


Figure 06: Contribution saisonnière des précipitations _ (1975-2012)

II.3.2. Températures

La température est un des éléments fondamentaux dans l'établissement du bilan hydrologique et dans la détermination du caractère climatique d'une région. Les données existantes sont celles des stations gérées par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH).

Nous avons les températures mensuelles moyennes de 6 ans (2016-2020).

Tableau 10: Valeurs des températures mensuelles moyennes, maximales et minimales à la station de Khemis Miliana (2016-2020)

paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
T Max °C	22,24	22,99	28,22	31,4	36,6	41,6	43,82	42,76	37,06	39,61	34,66	20,70
T Min (m) °C	1,17	2,09	1,28	4,54	7,22	11,74	17,3	16,26	12,34	8,34	4,97	2,19
T°C (moy)	11,71	12,54	14,75	17,97	21,91	26,67	30,56	29,51	24,7	23,97	19,82	11,44

Source : (ANRH, 2020)

D'après le tableau 10, les températures varient entre 11,44°C au mois de décembre et 30,56°C au mois d'juillet.

La moyenne des minimas est de 7.77°C, alors que la moyenne des maximas est de 33.65°C. (Voir annexes)

La figure 7, représente l'évolution des températures moyennes mensuelles de la station de Khemis Miliana

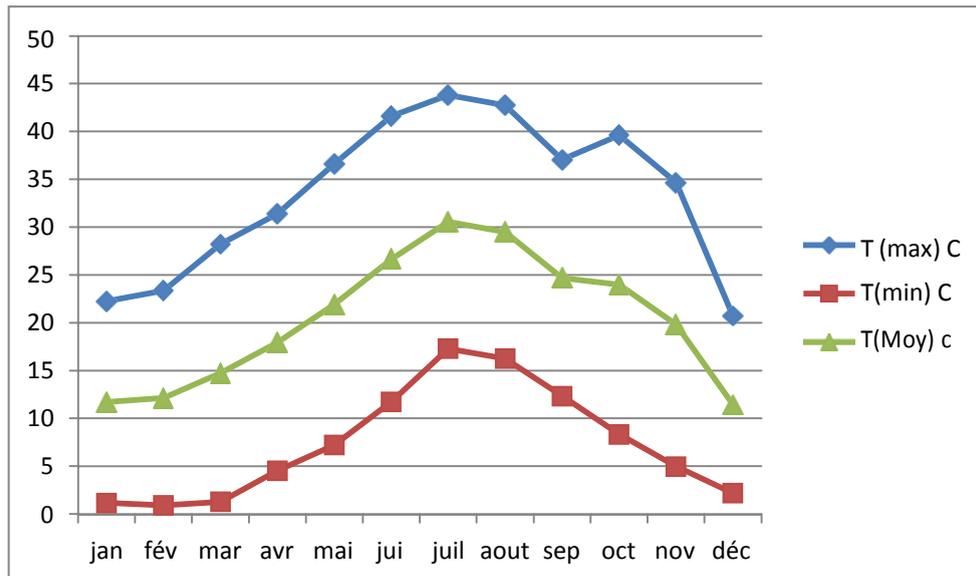


Figure 07: évolution des températures mensuelles moyennes de la station Khemis Miliana (2016-2020).

III.3.3. Vitesse du vent

La vitesse de vent moyenne mensuelle de 5 ans (2016 à 2020) est présente dans le tableau et figure suivant :

Tableau 11: Valeurs de la vitesse moyenne du vent – Station Khemis Miliana (2016-2020)

mois	jan	fév	mars	avr	Mai	juin	juil	aout	sep	Oct	Nov	Dec
Vent (m/s)	0,79	1.12	1.24	1.14	1.02	1.12	1.08	1.3	0.76	0.78	0.83	0,64

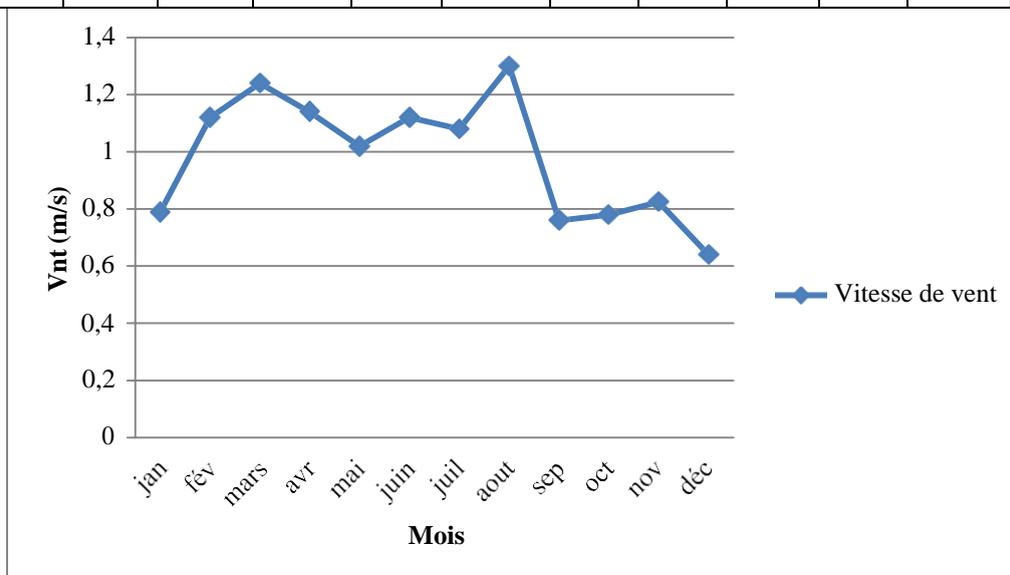


Figure 08: Evolution des vitesses moyennes du vent - Station Khemis Miliana (2016-2020)

D'après le tableau N° 18 et ci-dessus, nous constatons que :

La vitesse maximale du vent est de 1.3 m/s observée au mois d'Aout.

La vitesse minimale est de 0.64 m/s o au mois de décembre.

III.3.6. l'évaporation

L'évaporation s'exerce aussi bien sur l'eau qui circule dans les rivières que sur la tranche d'eau superficielle incluse dans le sol ou l'évaporation est a maximale pour un sol salure a cette action s'ajoute la transpiration des végétaux, l'évaporation et transpiration sont groupées généralement sous l'évapotranspiration.

Les données de L'évaporation enregistrée dans la station de Harreza représente dans le tableau suivant :

Tableau 12 : représente L'évolution de L'évaporation de station Harreza en période (2019-2020)

Mois	Sep	Oct.	Nov	Dec	jan	Fer	Mars	Avril	Mai	Juin	juil	Aou
Eva	90.7	66.95	37	62.25	28	43.2	69.9	58.85	110.5	126.05	152	/

Source : ANRH

III.4. Occupation du sol

La région du Haut Cheliff est généralement une région agricole. Les avantages La zone de plantation de fruits représente environ 47% du total des terres arables dans les plaines. Terrain à faible pente. Cultures céréalières et maraîchères (principalement pomme de terre terres), l'arboriculture fruitière et l'oléiculture, les cultures de rente occupent les plaines, Zones montagneuses, occupées par les cultures sèches (céréales et fourrages) et l'élevage moutons et chèvres. La plaine du Haut Cheliff a la plus forte proportion de superficie forestière Pin d'Alep, chêne liège et chêne vert.

III.5. Géologie et hydrogéologie

III.5.1. Géologie

La plaine elle-même est constituée d'alluvions récentes du Cheliff, constituées de

Les pavés, le gravier, l'argile sous le sable et les niveaux fertiles prédominent. Nous avons remarqué les dépôts alluvionnaires anciens sont de nature très diverse mais ont souvent des

pourcentages d'argile élevés. Enfin, la croûte calcaire de tuf blanc, dense ou poudreux est surtout développée dans la partie sud de la plaine (Sahraoui N, 2014)

III.5.2. Hydrogéologie

La plaine alluviale du Haut Cheliff est un remplissage alluvial Me-Plio Quaternaire, représenté par des sédiments alluviaux tels que le quaternaire et le grès.

Me-Plio-Quaternaire, de 50 m à 100 m d'épaisseur, au niveau de l'Oued Cheliff et La résistivité est de 100 ohms. Messieurs. La marne forme la couche inférieure de cet horizon aquifère (Tableau 13).

L'alimentation de cette nappe est assurée par les eaux d'infiltration des :

- Précipitation tombée sur la plaine.
- Eaux de ruissellement des Oueds (Deurdeur, Cheliff, Souffay, Boutane).
- Eaux d'irrigation excédentaire.

Tableau 13 : Comportement hydrogéologique des différentes formations de la plaine du Haut Cheliff (Ikhlef, 2005).

Formations	Epaisseur (m)	Age géologique	Comportement hydrogéologique	Type de nappe
Limons	6-20	Quaternaire	Imperméable	Peuvent rendre la nappe des alluvions captive
Alluvions grossière	50-150	Quaternaire	Perméable (Porosité d'interstices)	Captive a semi-captive (parfois libre)
Marnes	100	Pliocène	Imperméable	–
Grés et Poudings	100_200	Miocène	Perméable (Porosité d'interstices)	Nappe captive à semi captive

VI. Matériel et méthodes

VI. 1. Données pluviométriques

VI. 1. 1. Acquisition de données et choix de la période de référence

Les données pluviométriques ont été recueillies auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ANRH d'Alger et de Blida. Les données d'observations pluviométriques permettent de constater d'une part hétérogénéité générale des séries allant généralement du début du 20e siècle jusqu'à la période de l'indépendance (1962) et de courtes séries récentes, en partie postérieures à 1970. La décennie 1960 1970 se caractérise par un vide relatif.

Le choix des stations a été effectué selon les données mises à notre disposition par l'ANRH. Nous avons retenu 08 stations les moins lacunaires pour l'étude de la variabilité pluviométrique qui sera caractérisée par une analyse fréquentielle et par différents indices statistiques. Nous avons choisis une période de fonctionnement commune de 1975 à 2012 (à cause de la différence des périodes de fonctionnement des stations d'étude, et de la présence des périodes lacunaires).

VI. 1. 2. Situation géographique des stations étudiées

Le tableau 14 représente les caractéristiques géographiques et les données disponibles des 8 stations étudiées.

Tableau 14 : Caractéristiques géographiques des stations (Touabia, Ghrib amont , Kherba oued hellal , Abadia , Arib Chélif)

Bassin	Code des stations	Nom de station	cordonnée			Les donnes disponibles
			X	Y	Z	
Haut de Chélif	011901	Touabia	430.85	313.35	350	1975-2019
	011407	Ghrib amout	495.45	308.8	435	1976-2014
	011604	Kherba oued hellal	482.25	293.3	1240	1975-2015
	012001	Elabadia	407.85	327.3	162	1975-2019
	011702	Arib Chélif	439.5	332.55	230	1975-2019

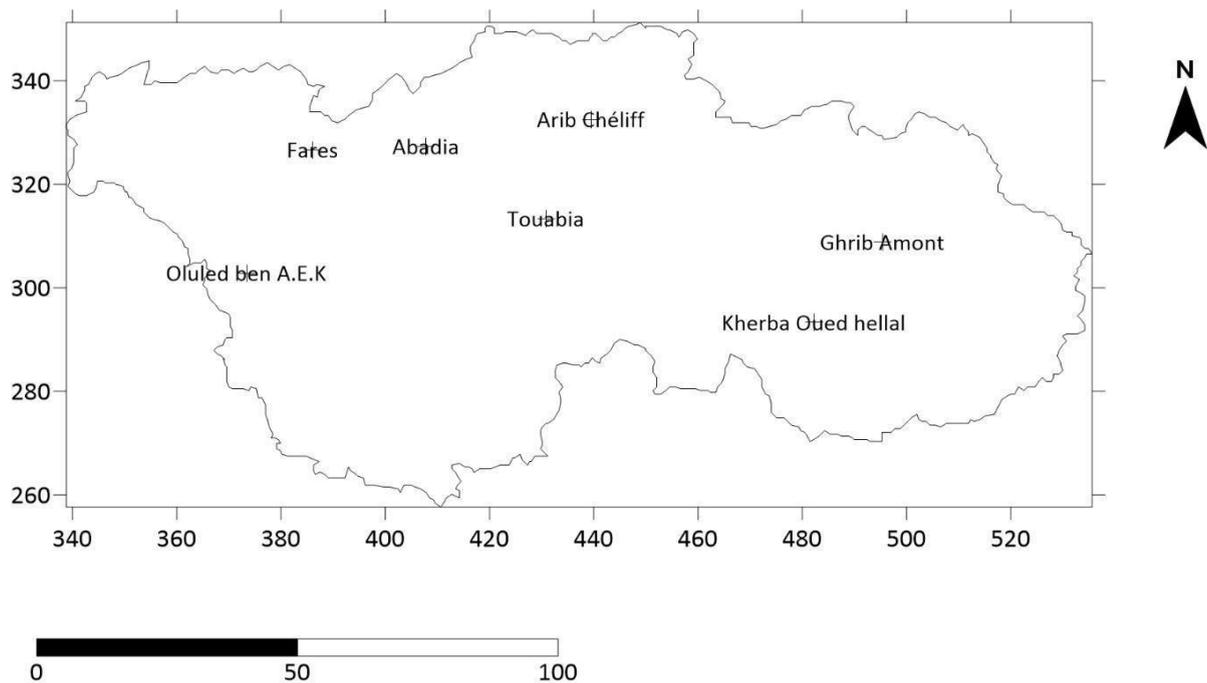


Figure 09 : Situation des postes pluviométriques du haut Chélif

VI. 2. Traitement statistique des séries pluviométriques

VI. 2. 1. Homogénéisation des données pluviométriques et tendance

Pour l'homogénéisation et le comblement des lacunes des données, nous avons utilisé le logiciel Hydrolab 2018 et Xlstat 2018.

VI. 2. 1. 1. Tests statistiques

Dans le but de caractériser d'éventuelles fluctuations dans le régime pluviométrique au pas de temps annuel, dans les sous bassins versants d'étude, une analyse a été menée sur des séries chronologiques s'étalant sur la période (1975 - 2012) au moyen des tests statistiques de détection de rupture, d'homogénéité et de tendance.

D'après Lubes et *al.* (1994), une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité d'une série chronologique à un moment donné le plus souvent connu. Une telle rupture marque une modification du régime pluviométrique ou hydrologique.

VI. 2. 1. 1. 1. Test de détection de rupture de Pettitt (1979)

Il identifie si les séries pluviométriques historiques sont homogènes par le biais des calculs statistiques. Ce test est une adaptation du Test de Mann Withney basé sur les rangs pour identifier le moment d'une transition dans une série. L'absence d'une rupture dans la série chronologique constitue l'hypothèse nulle H_0 . Si l'Hypothèse est rejetée une estimation de la date de rupture est donnée.

I. 2. 1. 1. 2. Test de tendance de Mann Kendall

Ce test de tendance non paramétrique permet d'étudier la présence ou l'absence de tendance dans une série chronologique donnée. Dans ce test, l'Hypothèses nulle H_0 (absence de tendance) est acceptée si la *P value* est supérieure à α , seuil de signification choisi, dans ce cas la série chronologique étudiée ne présente pas de tendance. Si *P value* est inférieure à α , alors la variable étudiée présente une tendance qui est définie par le coefficient statistique de Man Kendall (UMK), si U est positif, la tendance est la hausse, mais si U est négatif, alors la tendance est à la baisse.

VI. 2. 1. 1. 3. Lissage des données

Le lissage des données de séries pluviométriques a été fait par la méthode des moyennes mobiles sur différents pas de temps (moyennes mobiles sur 3 et 5 ans). Cette méthode est utilisée pour rechercher les éventuelles tendances internes et identifier les périodes sèches et humides.

VI. 2. 1. Régionalisation des données

Les champs de précipitations sont souvent caractérisés par une homogénéité spatiale plus grande que les débits, ce qui fait que les régions homogènes peuvent souvent être délimitées géographiquement.

Plusieurs méthodes de détermination de régions homogènes ont été appliquées aux précipitations.

VI. 2. 2. 1. Analyse multi variée : Analyse en composantes principales

Des analyses multivariées telles que l'analyse en composantes principales (ACP) permettent de regrouper les stations dont plus grand pourcentage de la variance est expliqué par le même axe factoriel. On applique cette technique pour évaluer la variation spatiale des précipitations et de définir les sous-régions homogènes

Cette technique d'analyse de données est couramment utilisée dans différents domaines (hydrologie, climatologie, chimie, etc).

Les analyses ont menées avec le logiciel Xlstat 2018.

VI. 2. 3. Analyse fréquentielle

L'Analyse fréquentielle des hauteurs de la pluie a été faite par le logiciel Hydrolab 2018, cette méthode permet d'ajuster les séries pluviométriques des différentes stations à différentes lois connues (normale, racine normale etc.) et de déterminer les différentes périodes de retour d'une hauteur de pluie donnée.

VI. 2. 3. 1. Ajustement à une loi

Des études antérieures (ANRH, 1993), ont montré que les pluies aussi bien annuelles que mensuelles pouvaient être ajustées à une loi normale ou racine normale.

La loi utilisée pour l'ajustement est la loi normale (loi de Gauss).

VI.2. 3. 2. Loi normale (loi de Gauss)

Fonction de répartition

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\mu} e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu \quad \text{avec} \quad \mu = \frac{K-K_0}{2}$$

μ : est la variable réduite de GAUSS

F(x) : fréquence au non dépassement

La **loi log-normale** est souvent utilisée en analyse quantitative pour représenter les cours des instruments Financiers (notamment les actions, cours de change, taux d'intérêt).

Loi racine normale :

La fonction de répartition de la loi racine normale est :

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-\frac{u^2}{2}} du$$

$$u = \frac{\sqrt{P} - \sqrt{\bar{P}}}{\sigma_{\sqrt{P}}}$$

Où :

F(x) est la probabilité qu'une valeur quelconque **X** soit inférieure ou égale à **x**.

u est la variable réduite de Gauss.

Cette loi est caractérisée par deux paramètres :

$$\overline{\sqrt{P}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{P_i}}{n}$$

≡
Moyenne des racines carrées de la série.

Analyse en composantes principales ACP:

L'analyse en composantes principales a été réalisée avec Xlstat 2018.

Surfer 2018

La réalisation des cartes thématiques est basée sur ce logiciel.

VI.1.2.2.Calcul du coefficient de variation (Cv) :

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

$$C.v \% = \sigma /$$

VI.2. 3. 3. Test d'adéquation

Pour tester la validité d'un ajustement d'une série d'observation à une loi théorique de distribution, le test que nous avons utilisé est le test de Kolmogorov - Smirnov. Ce test peut être utilisé quel que soit la taille de l'échantillon.

Le principe du test consiste à déterminer l'écart maximum existant en valeur absolue entre les deux fonctions théoriques : $|F(x) \text{ théorique} - F(x) \text{ observée}|$.

On compare cet écart à des valeurs critiques particulières. La valeur critique des échantillons d'effectifs N supérieur à 5 est donnée par : **(Dagnelie ; 1982)**

$$d = \frac{0,886}{\sqrt{N + 1,5}}$$

L'écart maximum entre les deux fonctions théoriques et observées, est inférieur à la valeur critique calculée, l'hypothèse est acceptée et l'ajustement est satisfaisant.

VI.2. 3. 1. Détermination des périodes de retour des pluies:

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

Avec :

FD : fréquence de dépassement

VI. 2. 4. Indice pluviométrique standardisé (SPI) :

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

Avec

P_i : Précipitation de l'année i

P_m : Précipitation moyenne d'une longue série de données

σ : Écart type

L'étude de cet indice permet également de distinguer les années sèches des années humides ou les années déficitaires, des années excédentaires. Une sécheresse sévit lorsque le SPI est consécutivement négatif et que sa valeur atteint une intensité de moins 1 ou inférieure et se termine lorsque le SPI devient positif.

Le tableau N suivant montre la classification du degré de sécheresse en fonction de la valeur du SPI

Tableau 15 : Classification de la sécheresse (SPI) (Bouanani. 2005)

SPI	≥ 2	$1 < SPI < 2$	$0 < SPI < 1$	$-1 < SPI < 0$	$-2 < SPI < -1$	SPI < -2
État de la sécheresse	Extrêmement humide	Humidité forte	Humidité modérée	Sécheresse modérée	Sécheresse forte	Sécheresse extrême

VI. 2. 2. 2. Approche géostatistique**Interpolation**

L'interpolation est faite par une méthode géostatistique en utilisant la méthode du Krigage. Le Krigage est une méthode d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. Il se distingue des autres méthodes par le fait qu'il prend en compte la structure de dépendance spatiale de données régionalisées. L'estimation des erreurs est plus fiable et proche de la réalité en Krigage.

Les méthodes de Krigage considèrent que le processus qui a donné naissance aux données peut être séparé en deux composantes principales : une tendance déterministe (les variations à large échelle) et une erreur auto-corrélée (les résidus):

$$Z(s) = m + e(s)$$

L'interpolation des hauteurs des pluies moyennes annuelles a été faite par Surfer 2018 en utilisant le modèle linéaire.

V. Résultats et discussion

V.1. Variabilité des pluies annuelles

V.1.1. Caractéristiques des pluies annuelles

Les caractéristiques descriptives : moyenne, écart type, coefficient de variation des hauteurs de pluies annuelles des 5 stations sont données par le (tableau 16)

Tableau 16 : Analyses statistiques descriptives des données de 5 stations (1975- 2019).

Variable	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart type σ	C_v %
Kherba oud Hellal	51	654.5	311.9	127	40 ,9 %
Ghrib Amont	211 ,5	889,9	475,8	163	34 ,2%
Elabadia	168 ,4	666,1	358,0	104 ,3	29 ,1 %
Touabia	157 ,4	445,5	295,4	77,4	26,2 %
Arib Chélif	194,4	602 ,5	423,0	104,9	24,8 %

Pour les 5 stations étudiées, la hauteur de la pluie moyenne annuelle varie entre 475,8 mm à la station de Ghrib Amont et 295,4 mm à la station Touabia

Le minimum de pluie observé à la station de Kherba Oued Hellal avec une hauteur de 51 mm et le maximum est à la station Ghrib Amont avec 889,9 mm

Pour caractériser la dispersion absolue et relative des cumuls pluviométriques annuels, nous avons calculé l'écart-type et le coefficient de variation.

D'après le tableau 12, les valeurs annuelles de l'écart-type montrent une grande dispersion des pluies annuelles qui varient entre 77,4 mm à la station Toubia et 163 mm à la station de Ghrib Amont.

V.2. Variabilité relative des pluies annuelles

La figure 9 montre que le coefficient de variation est compris entre 40,86% à la station de Kherba oued hellal et 24,80 % à la station de Arib Chélif les valeurs les plus faibles sont enregistrées dans les stations (Sud-est), en revanche, les valeurs les plus élevées sont observées dans (Nord).

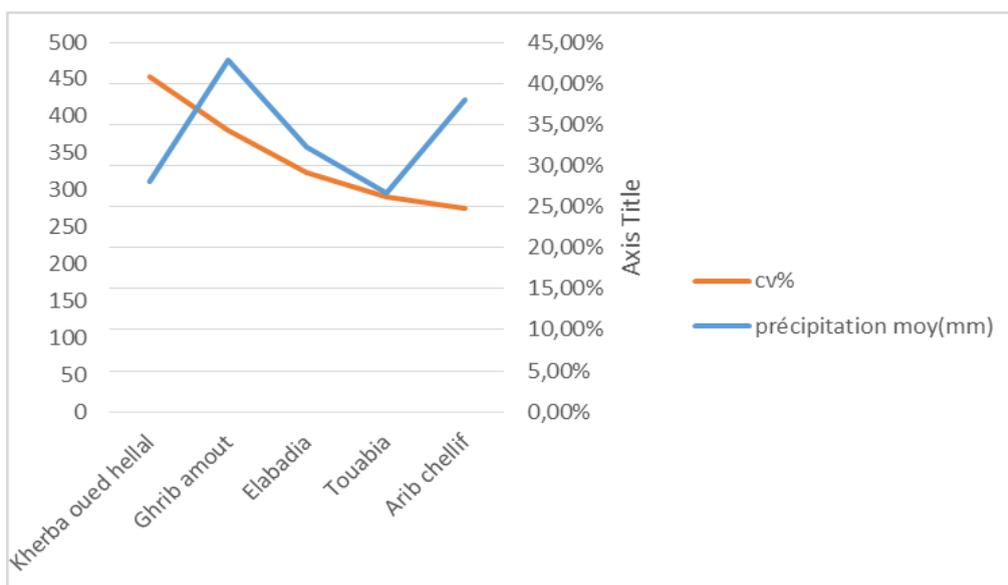


Figure 10 : Hauteur de la pluie et coefficient de variation

V.3. Étude de la variabilité temporelle des pluies

V.3.1. Test d'homogénéité et tendance des précipitations

Après avoir comblé les données lacunaires par le biais de l'analyse en composantes principales, nous avons testé l'homogénéité et la tendance des séries pluviométriques des stations par le biais du test de Pettitt et de Mann Kendal.

Tableau 17 : résultats du test d'homogénéité et de tendance

Variable	P – value Mann Kendal	P-value Pettitt	T de changement	Seuil
Arib Chélif	0,269	0,136	1986	0,05
Ghrib Amont	0,004	0,000	1992	0,05
Touabia	0,469	0,260	2002	0,05
Kherba oued hellal	0,745	0,826	1988	0,05
Elabadia	0,551	0,168	1986	0,05

Pour toutes les stations des 5 Sous bassin l'hypothèse nulle H_0 n'est pas (ou est) rejetée car la P -value est supérieure au niveau de signification $\alpha=0.05$. Les séries chronologiques des stations sont homogènes même si une date de changement (non significative) a été décelée pour chaque station et ne présente aucune tendance (voir tableau ci-dessus)

Divers auteurs avaient signalé cette absence de tendance (Ex Meddi) ayant étudié la variabilité des pluies à travers différentes stations en Algérie.

L'étude de l'évolution temporelle de la station Ghrib sur période de 38 années s'étalant de 1976 jusqu'à 2014 montre une rupture de stationnarité en 1992 figure 11.

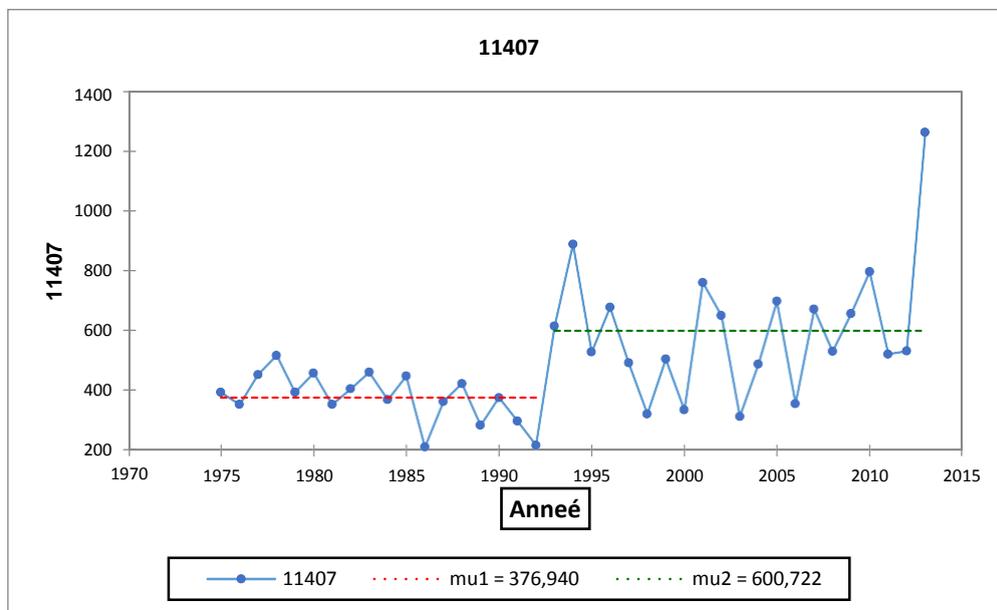


Figure 11: Rupture de stationnarité – Station Ghrib

Interprétation du test :

H_0 : Les données sont homogènes

H_a : 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 inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,04%.

Le taux d'augmentation entre la moyenne avant rupture 376,9 mm et après rupture 600,7 mm est de 2.23% est de 59,4 %.

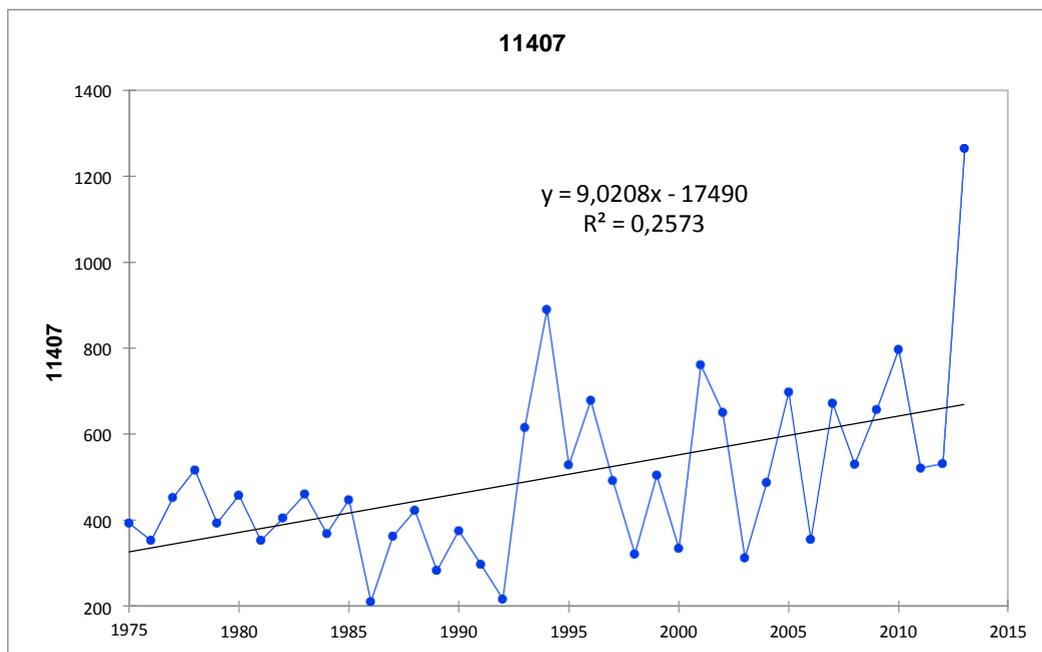


Figure 12 : Tendence de la station Ghib Amont

H_0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

H_a : Il existe une tendance dans la série Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification $\alpha=0,05$, on doit rejeter l'hypothèse nulle H_0 , et retenir l'hypothèse alternative H_a .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,40%.

L'évolution temporelle des pluies de la station Touabia sur la période de 45 années de 1975 jusqu'à 2019 montre pas une rupture de stationnarité et une tendance décroissante significative figure 13

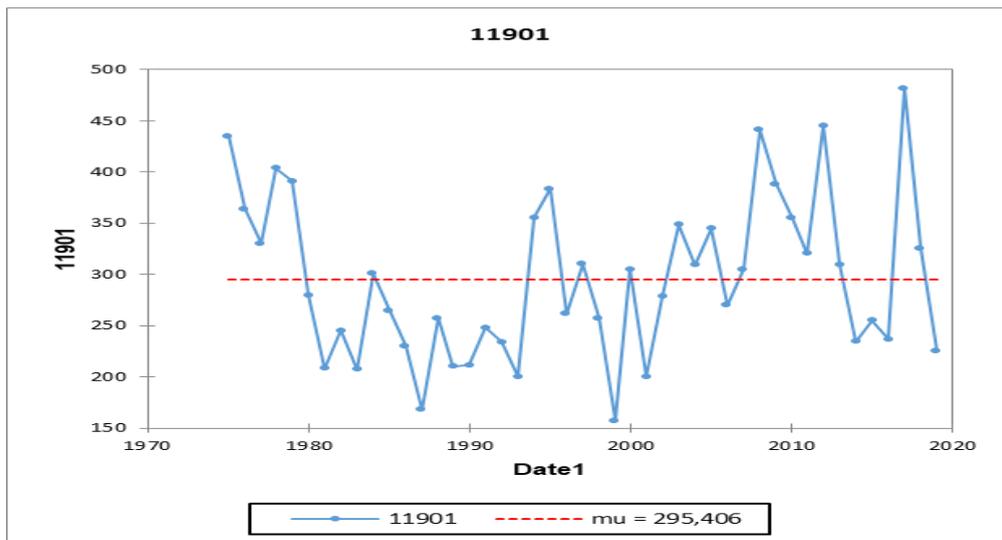


Figure 13: Homogénéité de la Station Touabia

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 26,04%.

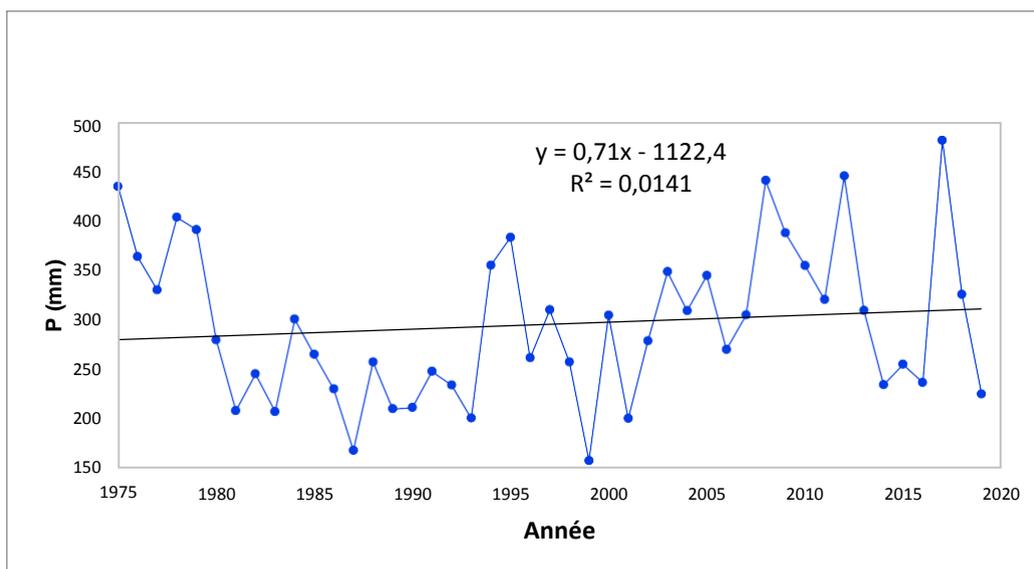


Figure 14 : Tendence de la station Touaibia

H0 : Il n'y a pas de tendance dans la série

Ha : Il existe une tendance dans la série

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 H_0 .

Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H_0 alors qu'elle est vraie est de 46,91%.

Les figures illustrant l'homogénéité et la tendance des différentes stations étudiées sont présentées en annexes 03.

V.3.2. Détection des tendances secondaires par moyenne mobile

Les moyennes mobiles (sur 5 ans) permettent de mieux visualiser l'évolution éventuelle entre des bornes quelconques. Cette méthode réduit l'influence des variations accidentelles et élimine l'effet de la fluctuation à courtes périodes.

Les fluctuations des pluies annuelles dans les sous bassins versants étudiés font ressortir plusieurs tendances secondaires dont l'ampleur et durée sont variables, à savoir : Ghib Amont de (1975- 1913) avec une période déficitaire d'une durée de 22 ans (1975_1996).

Le lissage des hauteurs de la pluie annuelle par application des moyennes mobiles sur 5 ans montre l'existence de fluctuations (figure 15)

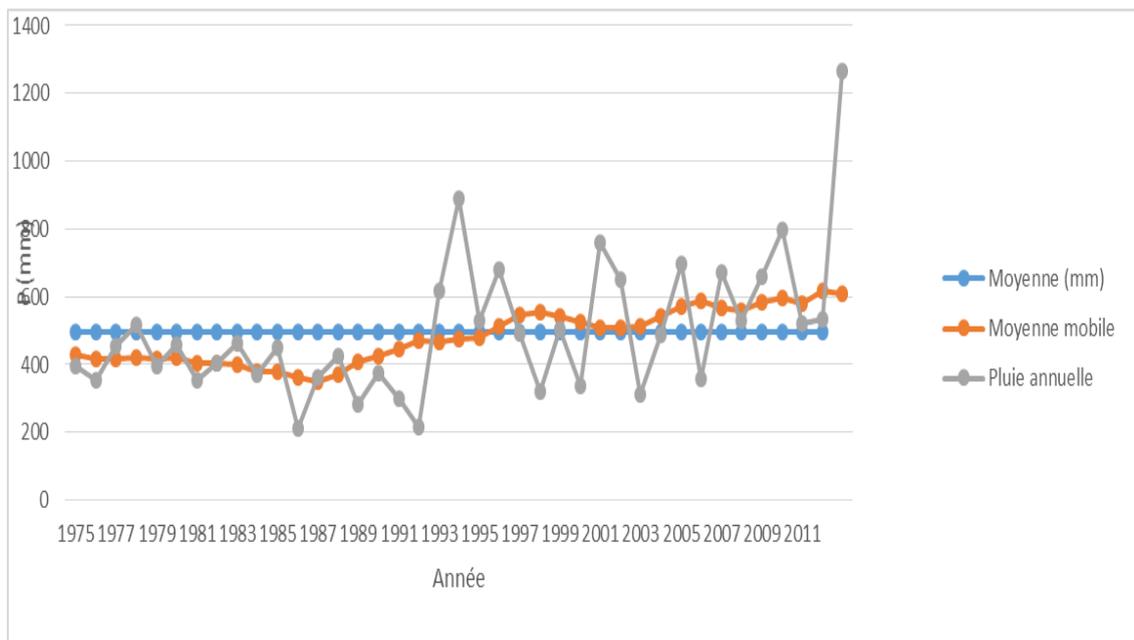


Figure 15: Moyenne mobile de la pluie sur 39 ans – Station Ghib Amont

Le lissage des hauteurs de la pluie pour la station Ghib montre :

Période déficitaire 1975 _1996

Période excédentaire 1996_2013

V.4. Variabilité spatio-temporelle des pluies saisonnières

Les résultats montrent que les pluies saisonnières sont variables (1975_2012).

Tableau 18 : précipitation saisonnières de 5 stations (1975_2012)

Station	Automne	Hiver	Printemps	Été
Ghrib amont	125,35	186,34	149,52	14,55
Kherba oued hellal	83,48	115,80	98,79	13,85
Arib Chélif	112,72	182,05	116,63	11,63
Touabia	79,27	113,27	89,68	13,16
Elabadia	97,18	148,09	102,38	10,40

Les résultats montrés par les figures 14 montrent que les pluies saisonnières sont variables dans toutes les stations.

La contribution en % par rapport à été fait par rapport à la hauteur pluviométrique annuelle des 5 stations (Figure 16)

Les stations Abadia et Arib Chélif sont du régime Humide HPEA (Hiver, printemps, été, automne). Par contre les stations Ghrib Amont et Touabia et Kherba oued Hellal de régime normal.

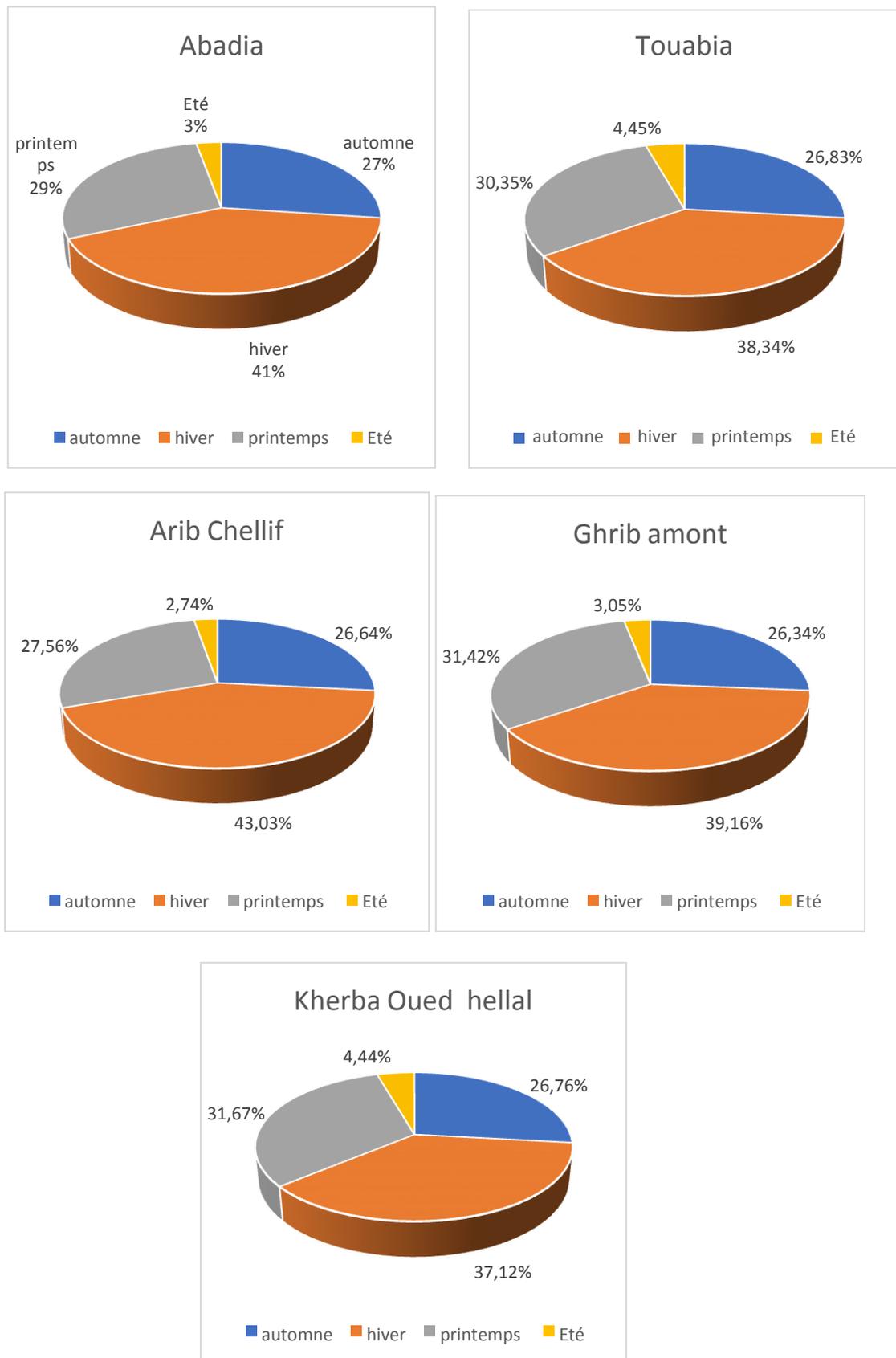


Figure 16 : Pourcentage de variations moyennes saisonnières des précipitations de cinq stations

V.4.2.1. Analyse fréquentielle

Nous avons effectué une analyse fréquentielle pour la station Ghrib sur une période de 1976 jusqu'à 2014 (39), ce qui nous a permis de calculer les périodes de retour des fréquences données.

Les hauteurs de pluies annuelles s'ajustent à la loi normale (Gauss)

V.4.2.2. L'équation d'ajustement

Le test de Kolmogorov Smirnov montre que les lois loi normale et racine normale s'ajustent bien aux séries chronologiques.

Dans le test de Kolmogorov Smirnov, toutes les valeurs calculées sont inférieures à la valeur critique.

L'analyse fréquentielle effectuée sur les pluies annuelles de la station Ghrib sur la période allant de 1975 jusqu'à 2013 (39 années). La série chronologique s'ajuste à la loi normale.

$$\text{Valeur critique : } = \frac{0,886}{\sqrt{N+1,5}} = d = \frac{0,886}{\sqrt{39+1,5}} = 0,139308.$$

$$\text{L'écart max : } = 0,12$$

Contrôle de l'ajustement :

Valeur calculé du test est de 0,12 est inférieure à la valeur critique 0,139

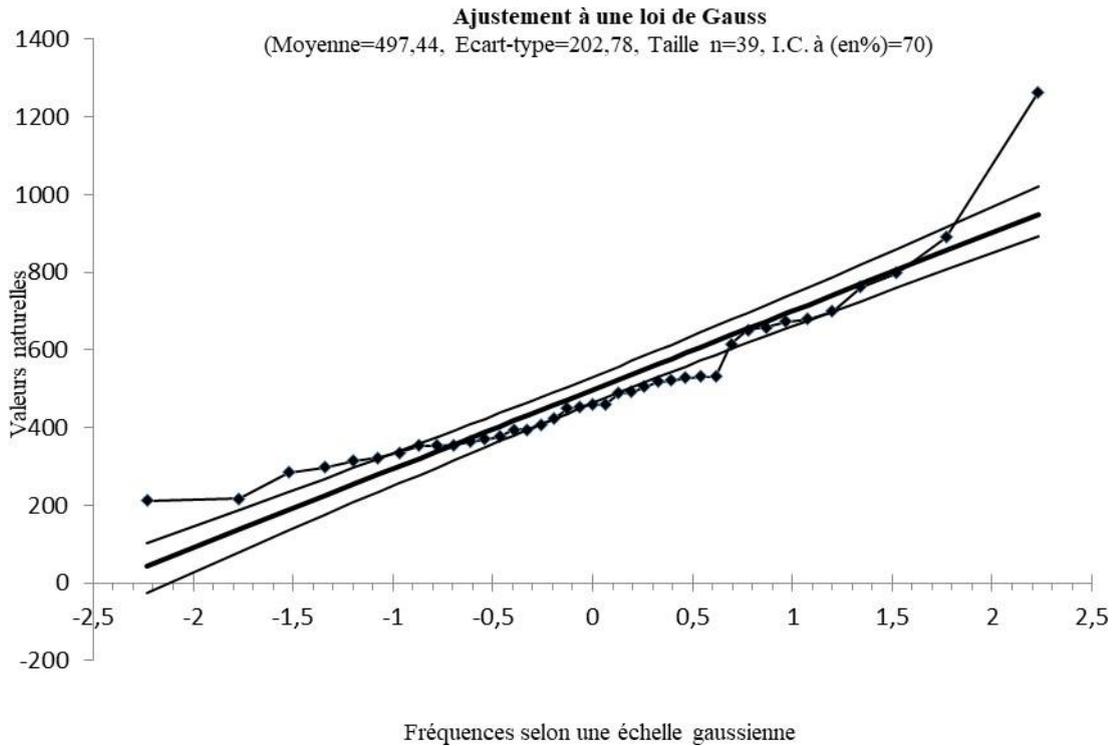


Figure 17 : ajustement des pluies annuelles de la station Ghrib (1975_2013)

Les hauteurs des pluies annuelles s’ajustent bien (Test de Kolmogorov-Smirnov) aux séries chronologiques de notre zone d’étude. Les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov montrent que toutes valeurs calculées sont inférieures à la valeur critique.

La loi normale pour les stations : Arib Chélif, Touabia, Kherba Oued Hellal

La loi de la racine normale pour les stations : Ghrib Amont, Abadia

L’ajustement nous permis la détermination des hauteurs de pluie annuelle pour les différentes périodes de retour Tableau 19

Tableau 19 : les différentes périodes de retour

Période retour	2 ans	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
P (mm)	497 ,43	668,09	757,30	913,88	969,16

V.4.3. Analyse en composantes principales ACP

Nous avons effectué l'analyse en composantes principales sur les hauteurs annuelles des différentes stations. Cela montre que les axes F1, F2 et F3 expliquent plus de 81,1% de la variance totale. La première composante principale représente à elle seule 43,56% de la variance expliquée. (Tableau 20)

Tableau 20 : Analyse en composantes principales

	F1	F2	F3
Valeur propre	16,120	10,247	3,11
Variabilité %	43,56	27,69	10,11
% cumulé	43,56	71,26	81,1

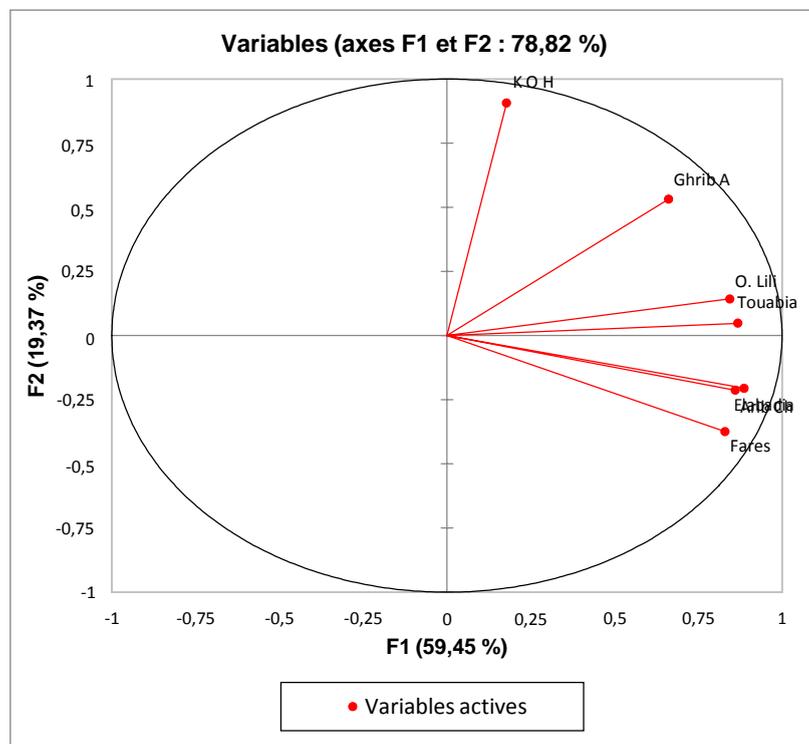


Figure 18: Cercle de corrélation des stations sur le plan (F1, F2)

Toutes les stations sont corrélées avec l'axe F1 excepté la station Kherba (KOH) Oued hellal et Ghrib amont qui sont mieux expliquées par l'axe F1.

Qui est corrélée avec l'axe F2 (Figure 18).

Les variables qui contribuent le plus à la formation de F1 (tableau 21) sont celles d’Elabadia (18,92%) et Touabia (18,16%), Arib Chélif et Fares de (17,84%) et (16,58%)

Les variables contribuent le plus à la formation de F2 sont Kherba Oued hellal (60,62%) et Les autres stations (Ghrib Amont et Oued Lilli) contribuent à la formation de l’axe F3.

Tableau 21: Corrélation et contribution entre les variables et les facteurs.

Coordonnées des variables	Coordonnées des variables		Contribution des variables (%)		
	F1	F2	F1	F2	F3
Kherba oued hellal	0,178	0,907	0,764	60,624	13,236
Ghrib Amont	0,663	0,532	10,551	20,90	53,754
Elabadia	0,887	-0,205	18,926	3,11	10,713
Touabia	0,869	0,048	18,161	0,711	0,029
Arib Chélif	0,862	-0,213	17,846	3,350	3,176
Fares	0,831	-0,374	16,581	10,34	0,605
Oued Lilli	0,845	0,143	17,170	1,503	18,487

La figure 19 illustre une opposition sur l’axe factoriel F1. Les stations Arib Chélif et Ghrib Amont qui sont les stations les plus pluvieuses dans le nord avec les stations Touabia et Kherba Oued Hellal qui sont les moins pluvieuses au sud.

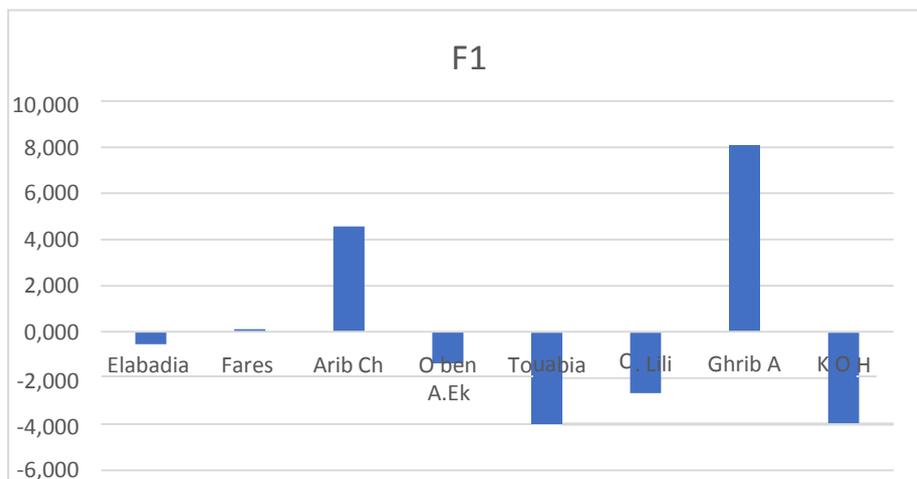


Figure 19 : Opposition des stations sur F1.

Sur l'axe F2, on observe une opposition entre les stations de Ghrib Amont situées (Nord) de la zone d'étude et la station d'Elabadia située au nord-ouest.

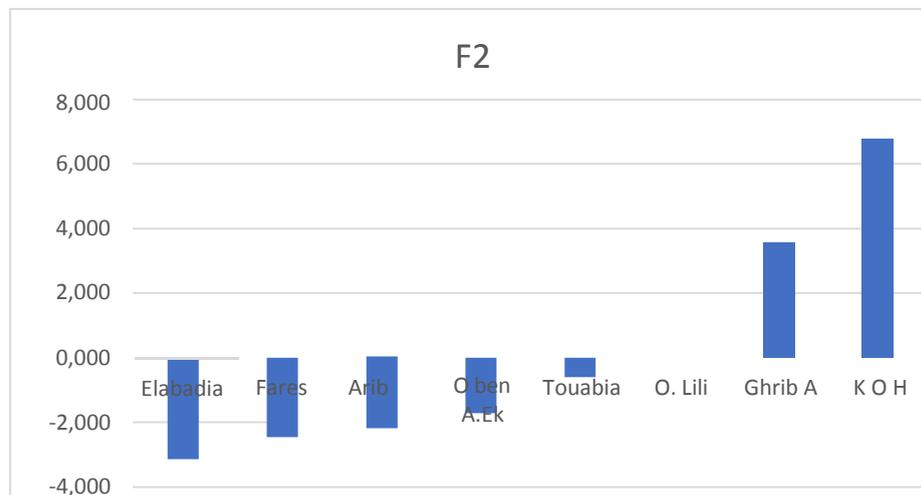


Figure 20 : Opposition des stations sur F2

La figure 20 montre la projection des variables sur le plan F1-F2 permet de visualiser 3 groupes

*Un groupe représente les stations les plus pluvieuses.(Ghrib Amont, Arib Chélif).

*Un deuxième groupe composé de 2 station qui est la moins arrosée Kherba oued Hellal et Touabia avec une valeur

* Un troisième groupe composé d'Oued Lili, Ouled Ben A.E.K, Elabadia, Fares

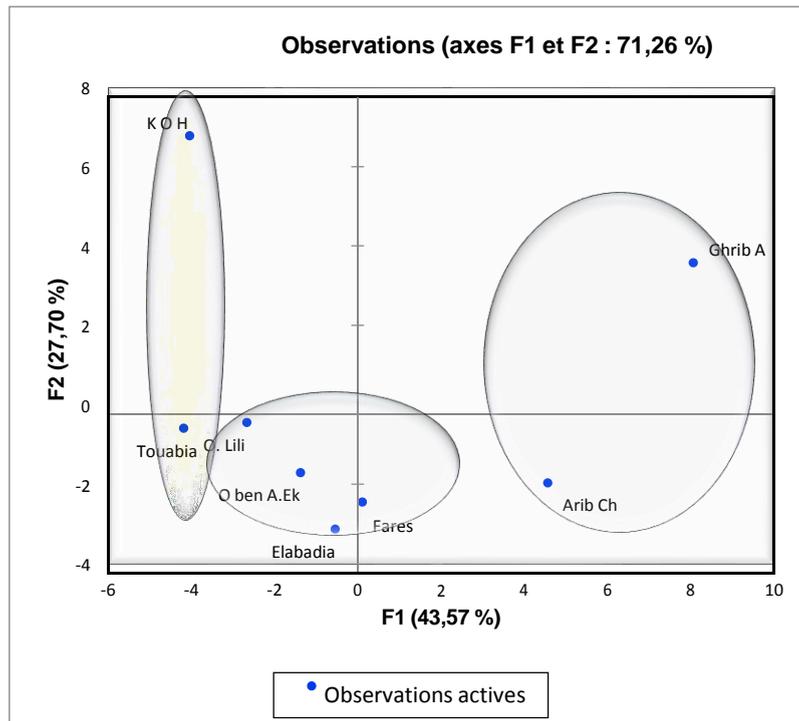


Figure 21 : observation (axe F1 et F2 : 71,26%) .

V.5. Caractérisations de la sécheresse et du déficit pluviométrique

V.5.1. Indice standardisé des précipitations (SPI)

Pour caractériser la sècheresse, le SPI permet de déterminer les années sèches et la sévérité de la sécheresse au niveau d'une station pluviométrique.

Tableau 22 : Résultats du SPI de Cinq Stations

Station / SPI	>2 Humidité extrême	1<SPI<2 humidité Fort	0<SPI<1 Humidité modérée	-1<SPI<0 Sécheresse Modérée	-2<SPI<-1 Sécheresse forte	SPI<-2 Sécheresse extrême
Kherba Oued hellal	2	4	13	15	4	0
Touabia	0	8	12	11	8	0
Ghrib Amont	0	3	11	20	3	0
Elabadia	1	7	8	19	3	0
Arib Chélif	0	8	11	11	6	1

D'après le tableau toutes les stations étudiées ont connu une sécheresse modérée en moyenne de 15 années et une humidité modérée en moyenne de 11 années et ce sur la période étudiée allant de 1975 jusqu'au en 2012 (Période de 39 années).

Sur la même période d'étude seule la station de Arib Chélif qui a connu une seule année de sécheresse extrême

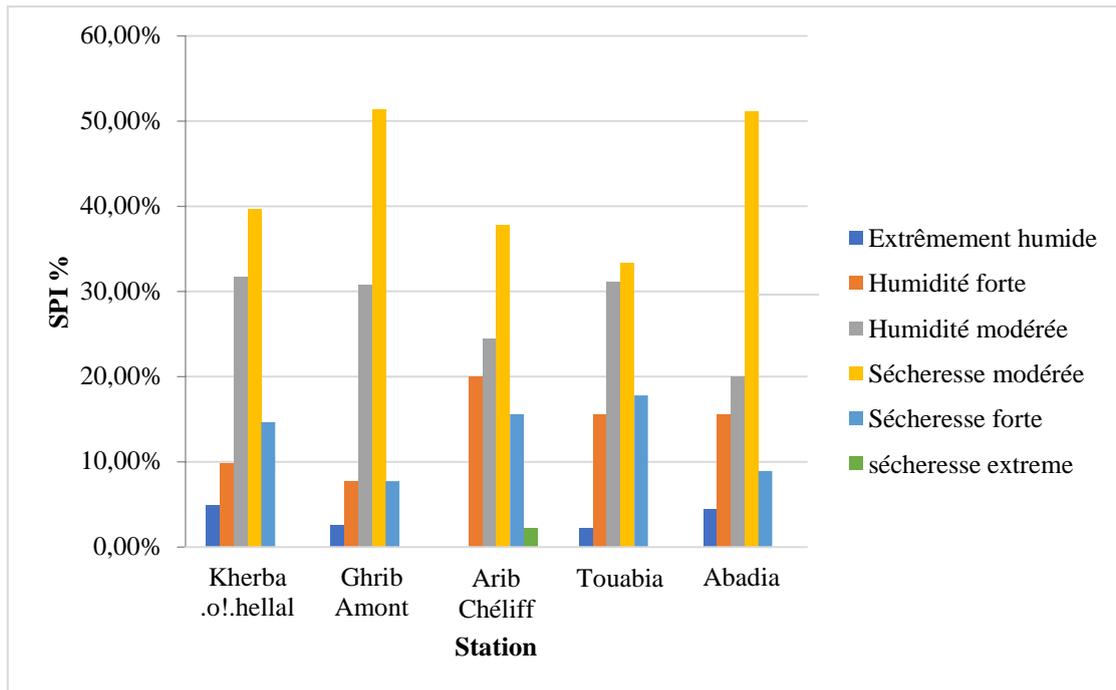


Figure 22 : Evolutions des résultats de SPI

On observe que la majorité des stations montre un grand pourcentage de humidité modérer et sécheresse modérée.

V.5.2. Evolution du SPI

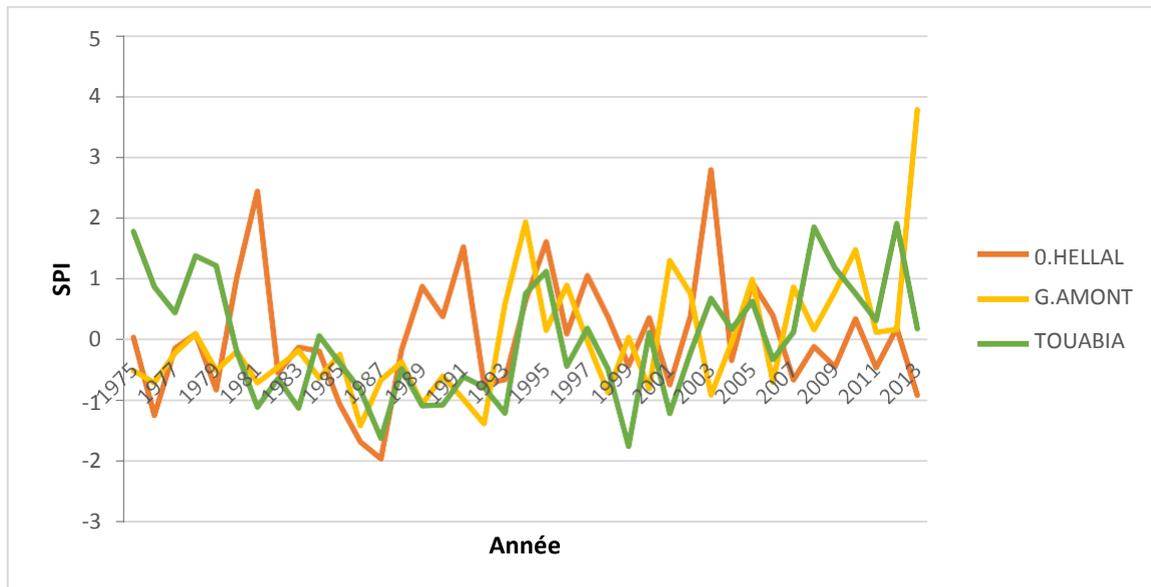


Figure 20 : Evolution du SPI pour 3 stations (Kherba oued hellal, Ghrib amont, Touabia) (1975_ 2013)

On constate que l'année la plus sèche a été enregistrée au niveau de la station Kherba oued hellal de valeur la plus élevée du SPI est de 1,95 en 1987.

-L'année la plus humide a été enregistrée au niveau de la station Ghrib amont de valeur SPI 3,78 en 2013

V.5.3. Interpolation des hauteurs de la pluie moyenne annuelle :

La spatialisation des hauteurs de la pluie moyenne annuelle a été faite par le logiciel Surfer 2018 par méthode de Krigeage en utilisant le modèle de variogramme théorique linéaire. Figure 21

D'après la figure 21 on constate d'existence de deux gradients

Un gradient Nord-Sud

Un gradient Nord-Est Sud-Ouest

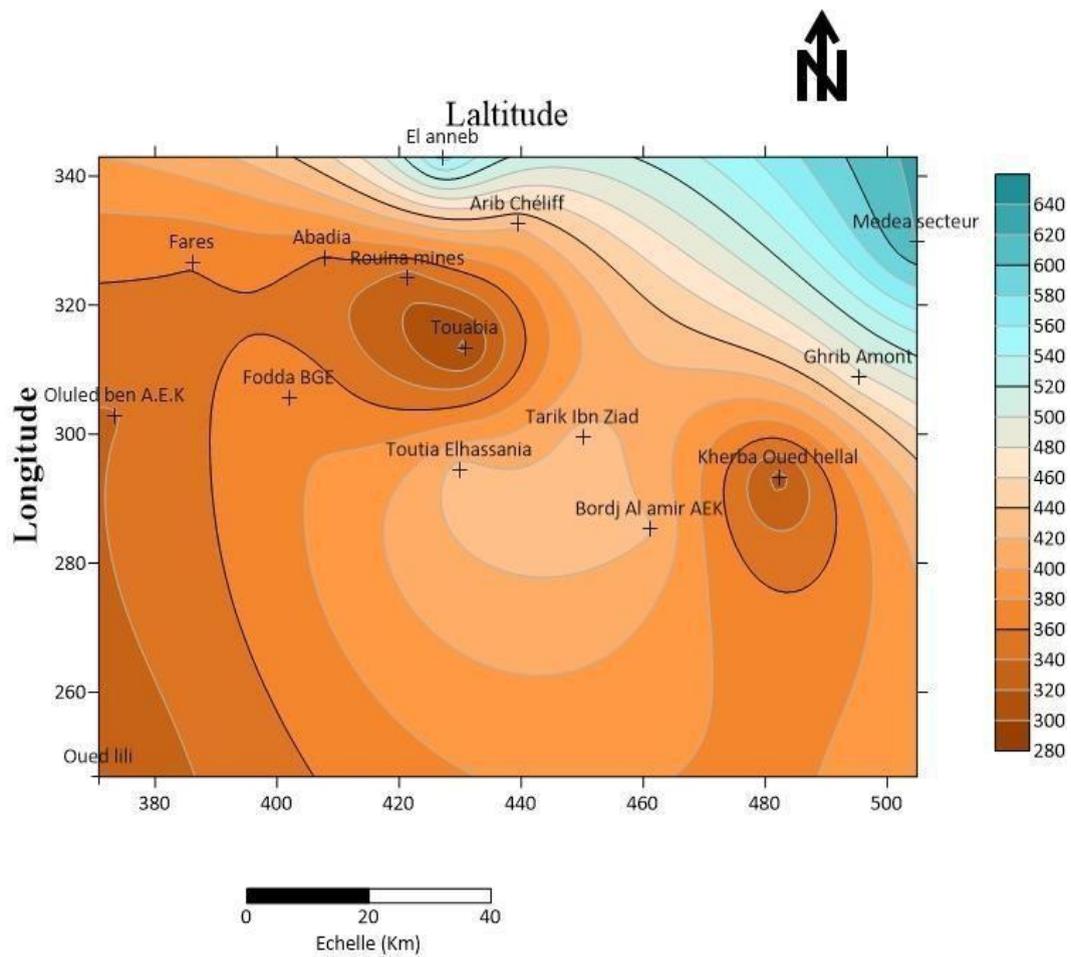


Figure 21 Isohyètes de précipitation annuelle.

Conclusion

Durant notre étude de cette région nous avons trouvé les points suivant concernant la variabilité spatio-temporelle des pluies annuelles

- ✓ Dans cette région la pluviométrie est irrégulière caractérisée par des années successives de sécheresse aussi une succession des années humides.
- ✓ Le maximum le plus élevé se trouve au niveau de la station de Ghrib Amont (889,9 mm).
- ✓ La station Touabia port à la moyenne (295,4 mm) et le maximum (445.5 mm) les plus faibles par rapport aux autres stations.
- ✓ La moyenne (311.93mm) et le maximum (654.51 mm) de Kherba oued hellal sont sensiblement égale à la moyenne (358.07 mm) et le maximum (666,1 mm) station d'Abadia.
- ✓ Du point de vue évolution de la pluviométrie des stations, on remarque que la moyenne augmente de la station Touabia jusqu'à la station de Ghrib.
- ✓ L'irrégularité des saisons nous a démontré que le climat n'est pas stable et qu'il pourra continuer à évoluer dans le temps et dans l'espace.
- ✓ Le degré de sévérité n'est pas trop élevé dans nos stations, on constate qu'il y a une dominance des classes de la période humide.

Les fluctuations des pluies annuelles dans les sous bassins versants étudiés font ressortir plusieurs tendances secondaires dont l'ampleur et durée sont variables, à savoir A titre indicatif la station Ghrib Amont de (1975- 2013) avec une période déficitaire d'une durée de 22 ans (1975_1996).

Les 5 station présentées ont connu une sécheresse modérée en moyenne de 15 années et une humidité modérée en moyenne de 11 années et ce sur la période étudiée allant de 1975 Jusqu'au en 2012 (Période de 39 années).

D'après le tableau 17 toutes les station étudiées ont connu une sécheresse modérée en moyenne de 15 années et une humidité modérée en moyenne de 11 années et ce sur la période étudiée allant de 1975 jusqu'au en 2012 (Période de 39 années).

Sur la même période d'étude seule la station de Arib Chélif qui a connu une seule année de sécheresse extrême

La spatialisation des hauteurs de la pluie moyenne annuelle a été faite par le logiciel Surfer 2018 par méthode de Krigeage en utilisant le modèle de variogramme théorique linéaire.

Figure

D'après la figure on constate d'existence de deux gradients

:Un gradient Nord-Sud

Un gradient Nord-Est Sud-Ouest.

Références bibliographiques

A

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

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

B

Beran, Rodier : Aspects hydrologiques des sécheresses. Contribution au programme hydrologique international. *Rapport préparé par un comité mixte UNESCO/OMM*, (1987) 172p

Bouanani. 2005. Hydrologie, Transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassin de la Tafna. (N-W – Algérie), Doctorat d'état, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen,250p

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

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

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

D

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

Dakiche. : Un pas de plus dans la lutte contre la désertification. Université d'Oran. Non daté

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

E

El MAHL. (2002) : Déficit pluviométrique des dernières décennies en Algérie du Nord et son impact sur les ressources en eau. Mémoire de magister, C.U.Mascara.

Elouissi. (1992) : Contribution à la formation des microrégions climatiques pour la région de Mascara, Mémoire d'Ingénieur, Centre Universitaire de Mascara.

F

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

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

FAO, 1996. La planification des stratégies contre les effets de la sécheresse.

H

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

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

K

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

L

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

Lubes h, Masson J.M., servat é., PATUREL J.E., KOUAME B. et BOYER J.F. (1994) - Caractérisation des fluctuations dans une série chronologique par application de tests

Statistiques. Étude bibliographique. *Programme ICCARE, Rapport n° 3, ORSTOM, Montpellier.*

Lubes-Niel, Masson J.M., Paturol J.E. et Servat é. (1998) - Variabilité Climatique et statistique. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité des chroniques. *Revue des Sciences de l'eau*, vol. 11, n° 3, p. 383-408.

M

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

Meddi. et Meddi. (2009) - Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest del'Algérie. *Sécheresse*, vol. 20, n° 1, p. 57-65.

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

Mohamed, Aws Alouini, Iresa (2001) : Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : Cas du bassin versant de Siliana en Tunisie.

Site web:

https://www.google.dz/search?q=barrage+vert&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUK EwiQ0fDg2aDjAhWOA2MBHbpPClQQ_AUIECgB&biw=1366&bih=657#imgdii=KA2UR OOx0suMMM:&imgsrc=XBaxa9myVpVjWM:

Site web :

https://www.google.dz/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwj16Kuc86DjAhUtAm MBHSUFAHEQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.bioenergie-promotion.fr%2F39498%2F1algerie-relance-son-chantier-de-barrage-vert-avec-3-millions-ha-a-planter%2F&psig=AOvVaw20-V49hCcsSj9yaymf4ra_&ust=1562522917759828

SITE WEB

1. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ksob.jpg> (Own work (2010) Barrage du Ksob dans la Wilaya de M'Sila).
2. <http://www.andi.dz/PDF/monographies/Djelfa.pdf>
3. https://www.google.dz/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwic3dCulaHjAhXw2eAKHSWeDFcQjRx6BAgBEAU&url=https%3A%2F%2Fwww.vitamedz.com%2Fbarrage-de-djelfa%2Fphotos_139_42603_0_1.html&psig=AOvVaw1HmIgj7fyGLW3zq-LcO06p&ust=1562532515545248
4. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Microclimat>
5. **Sauquet, , 2006b**. Evolution des extrêmes hydrométriques en France à partir de données observées. *La Houille Blanche - Revue Internationale de l'eau*, 6: 48-54.
6. **Sen p. (1968)**, "Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau", *Journal of the American Statistical Association*, 63, pp. 1379-1389.

T

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

Touaïbia., Inegliz. et Ould Amara. (2006). Couplage d'une analyse en composantes principales et d'une approche géostatistique pour l'élaboration de cartes pluviométriques du Centre de l'Algérie du Nord. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science* 19, 213-219.

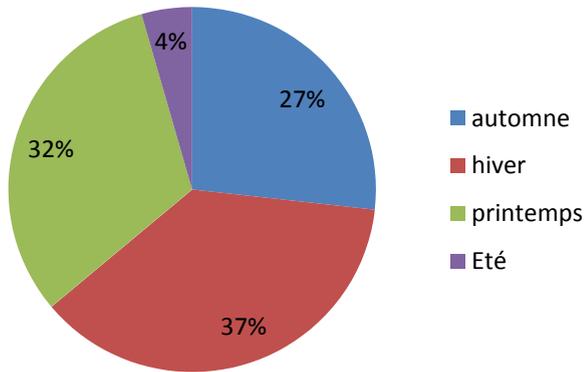
Y

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

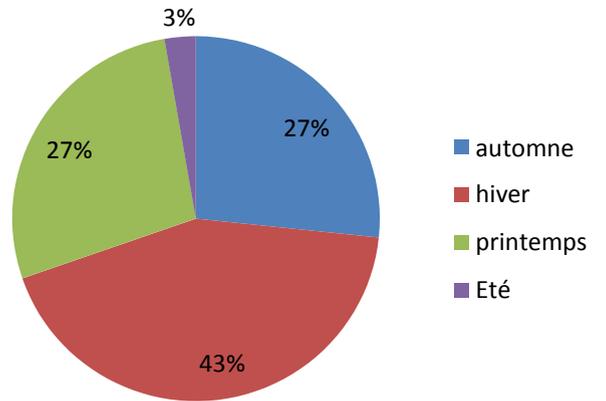
Yue. S et Wang.C.Y, 2004. The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management Journal*, 18: 201-218

Annexe 01

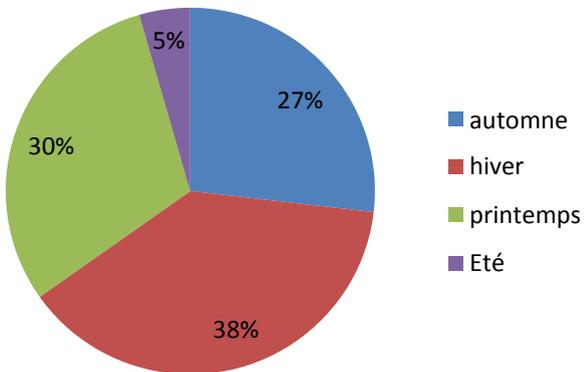
Kherba Oued hellal



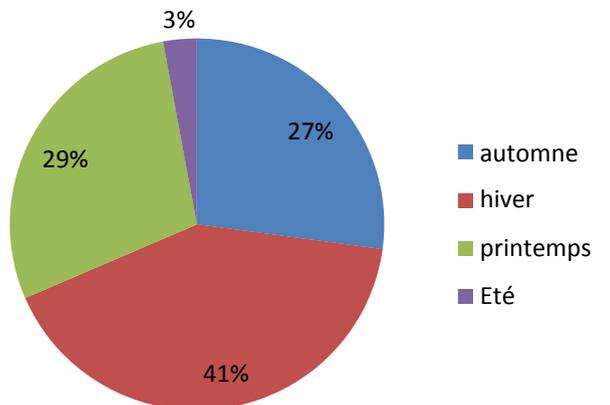
Arib Chellif



Touabia

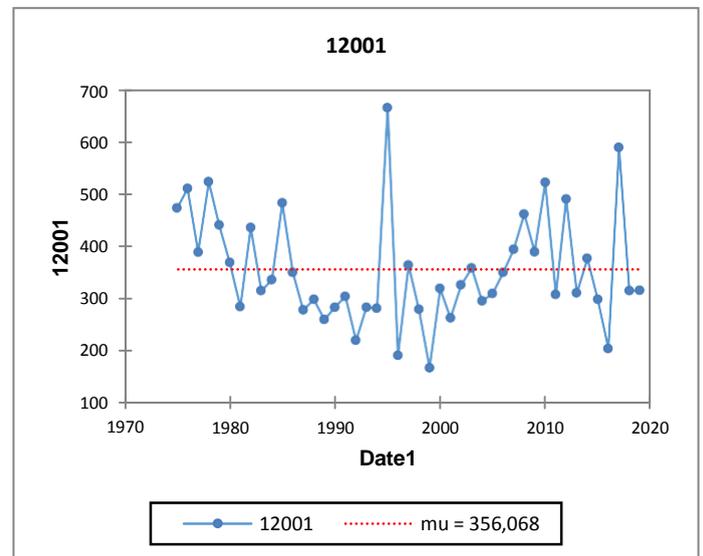
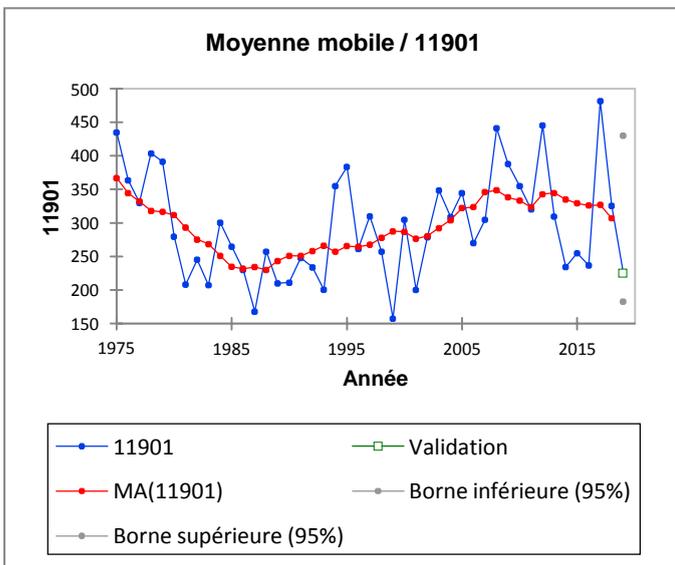
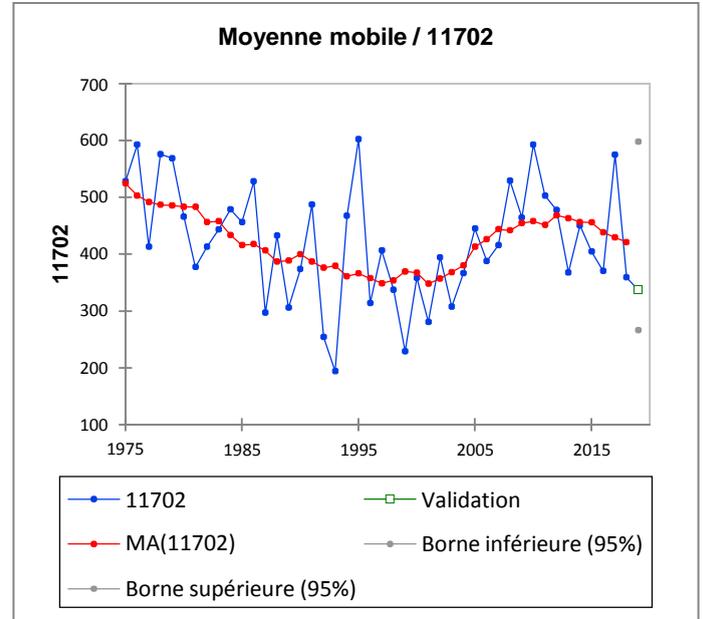
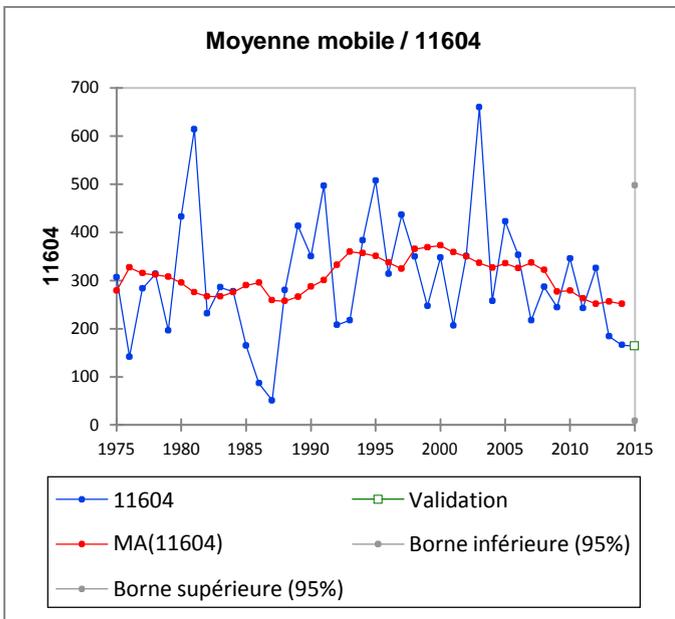


Abadia

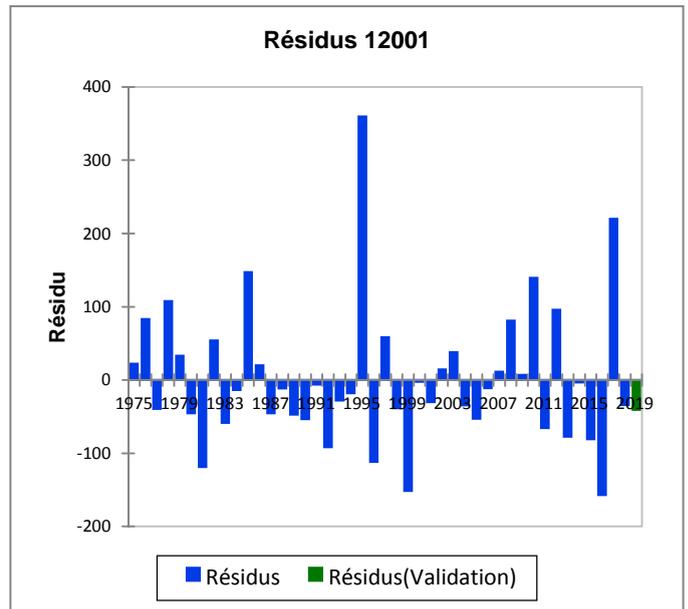
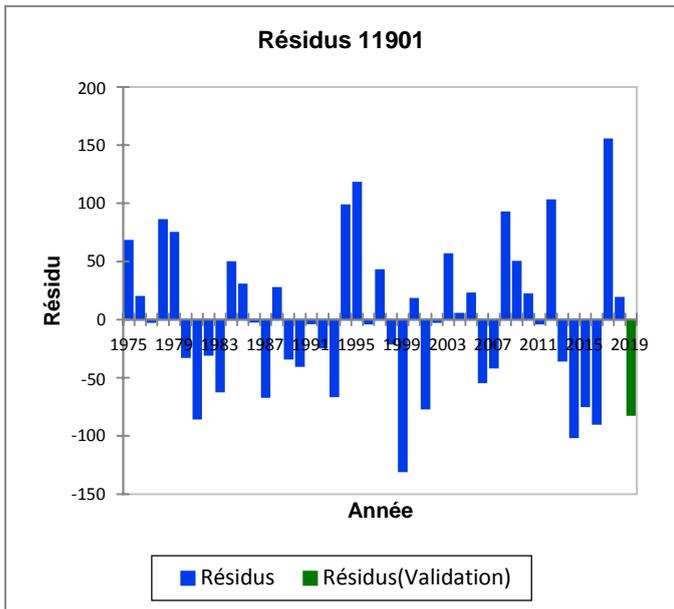
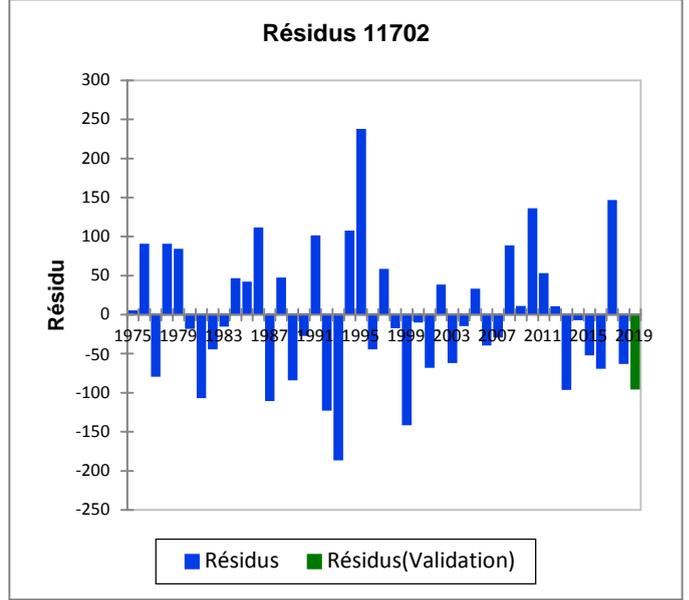
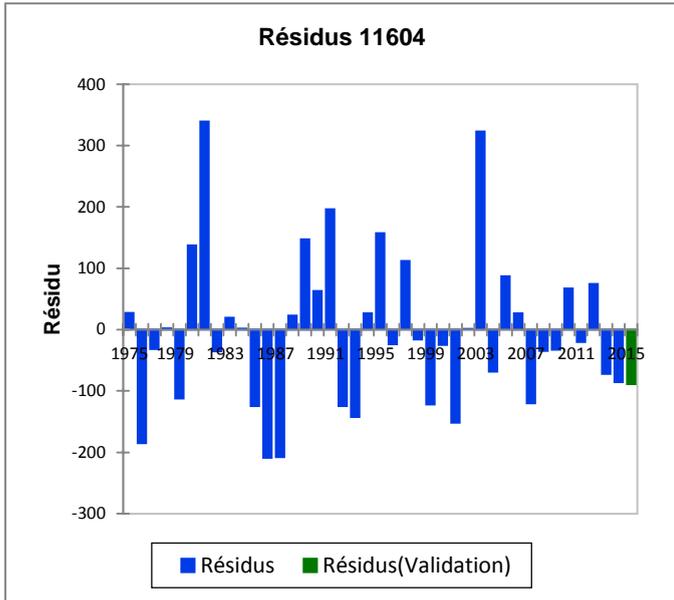


Annexe 02

1. lissage (moyenne mobile) des quatre stations

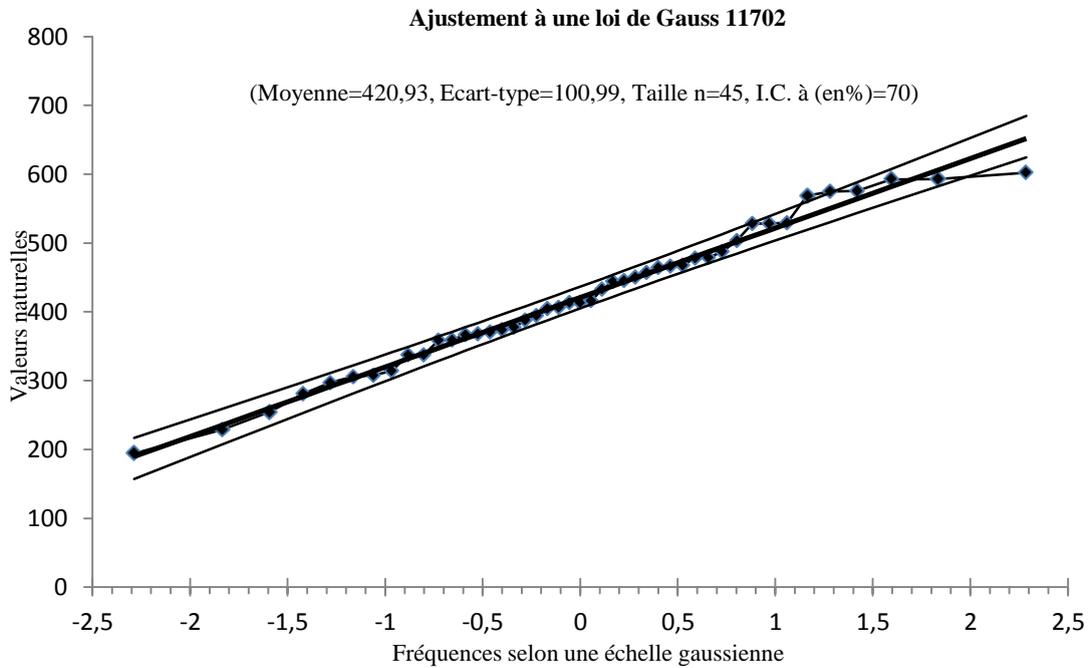
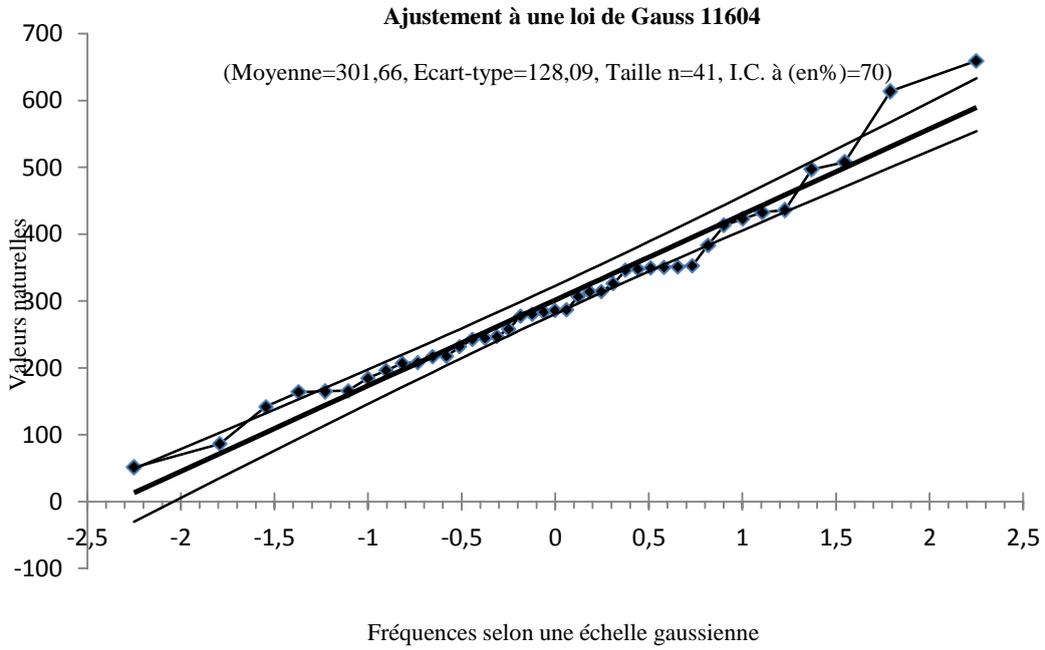


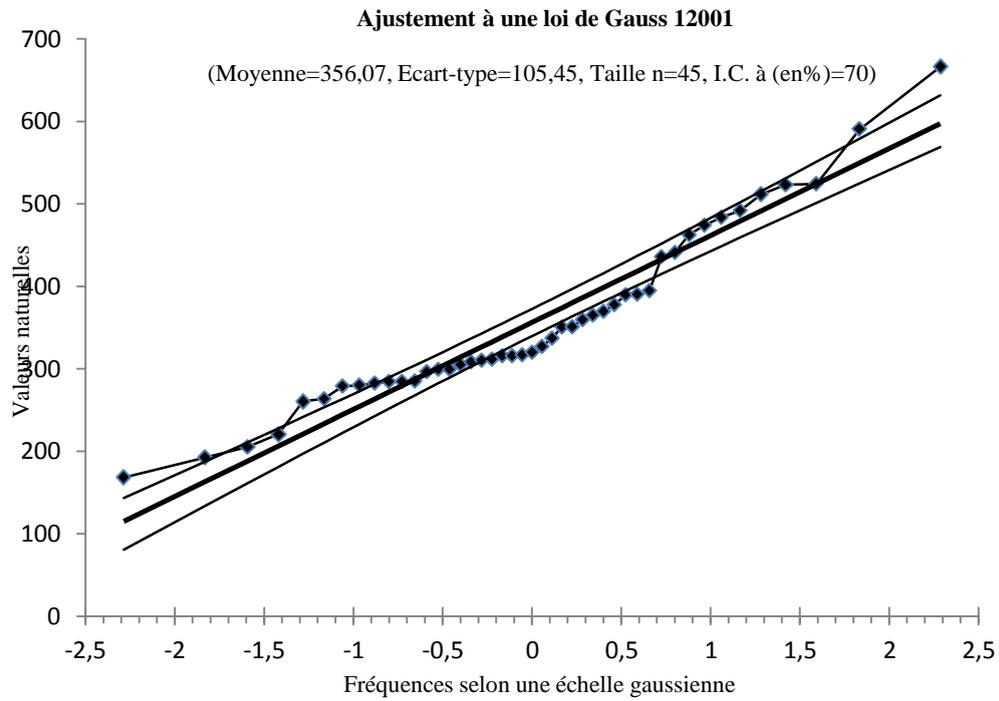
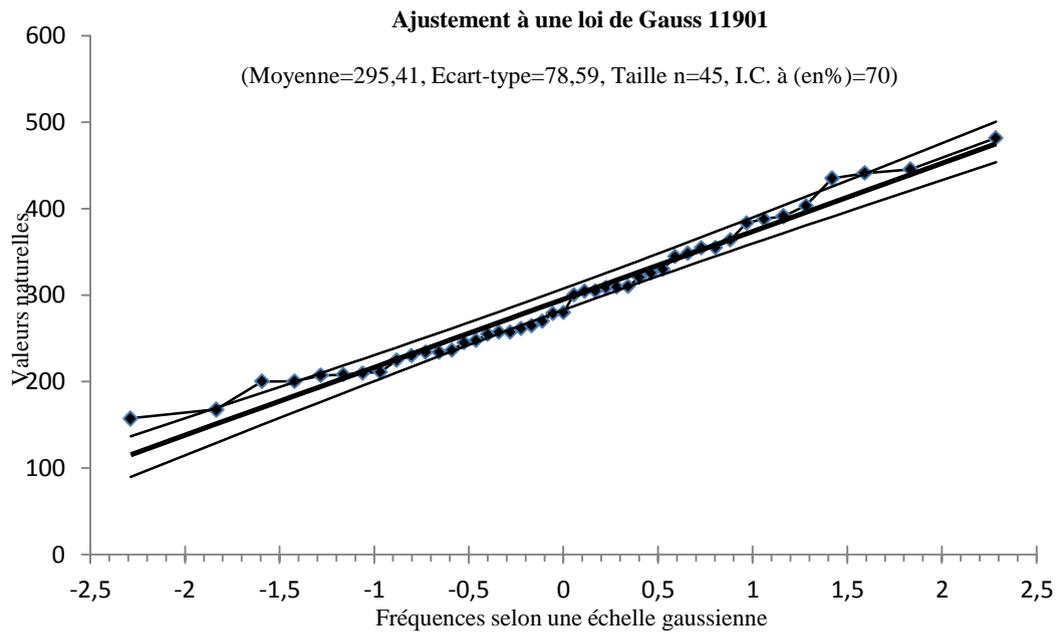
2. Délimitation des phases sèches et humides



Annexe 03

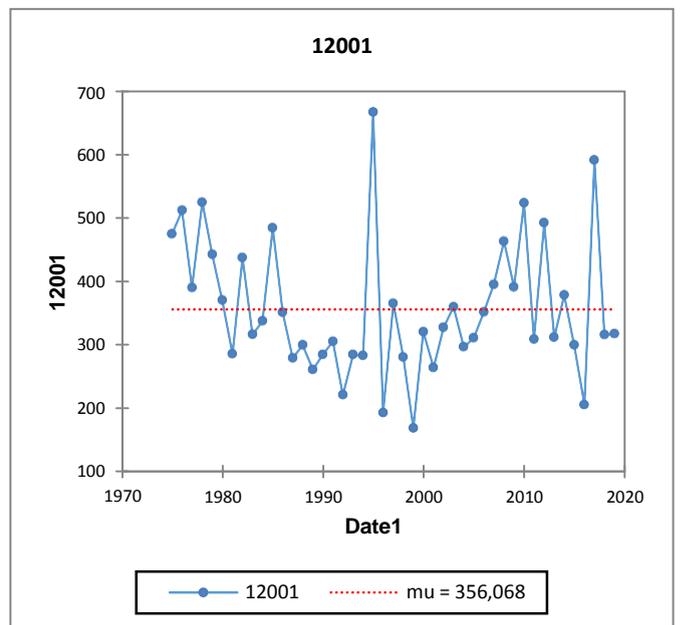
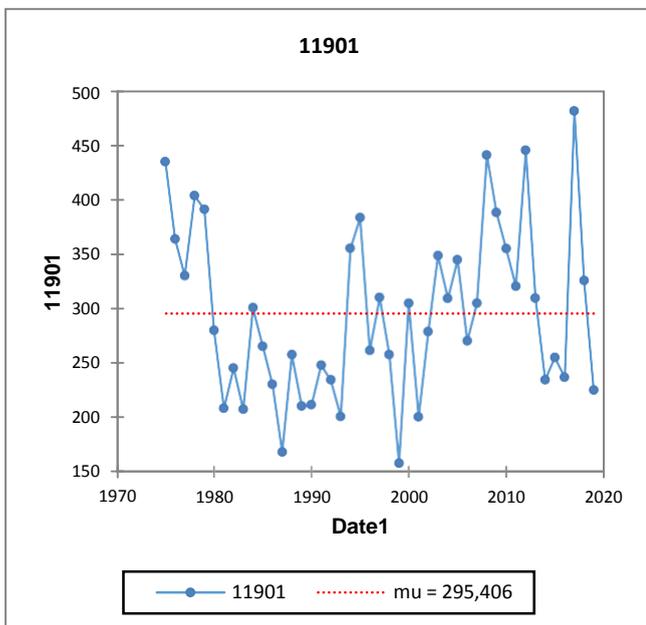
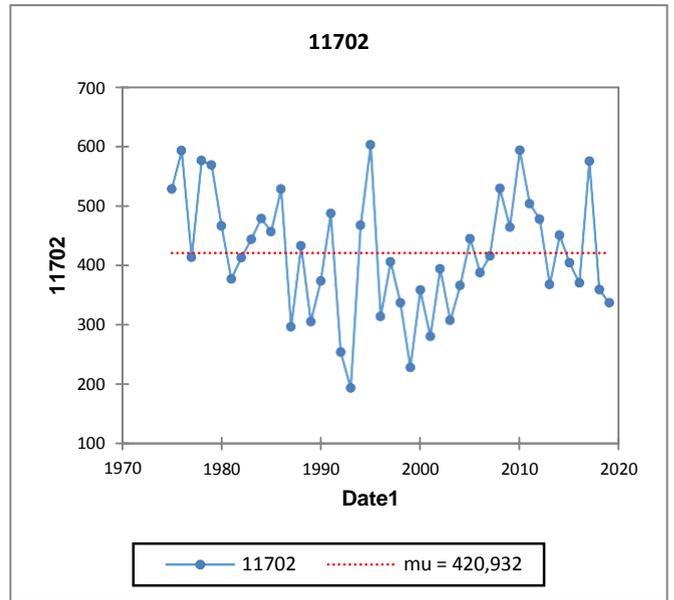
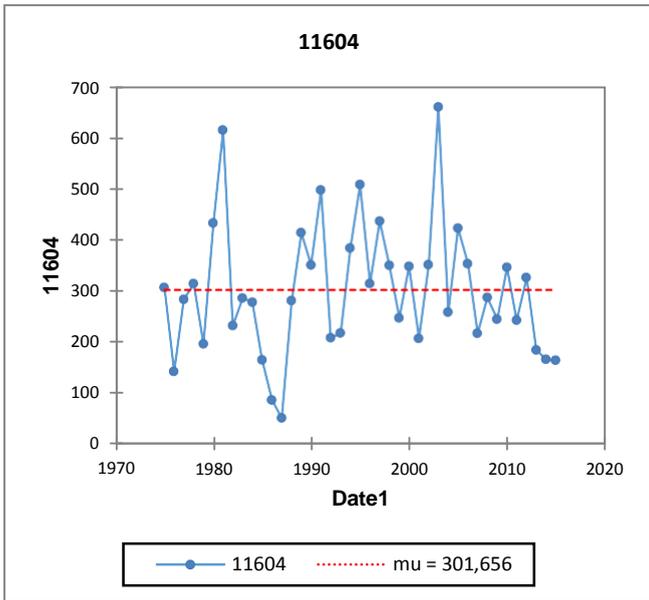
Ajustement des précipitations moyennes annuelles des stations





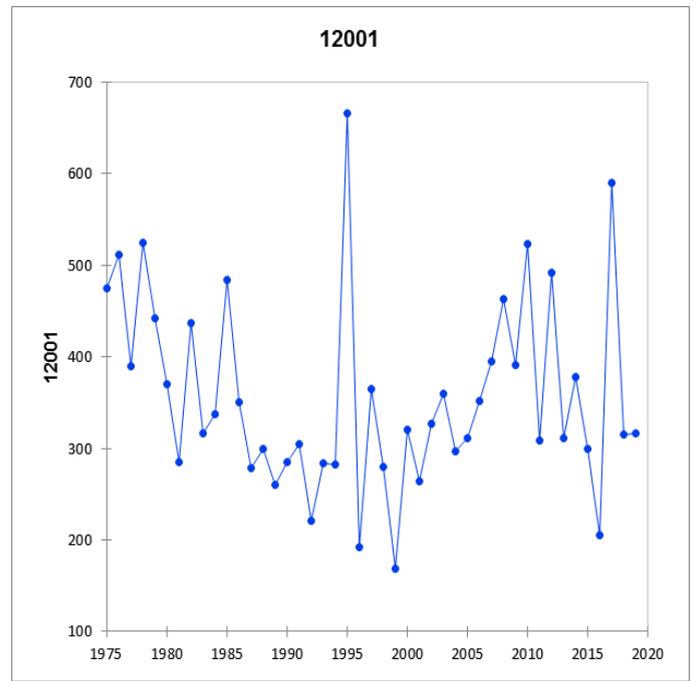
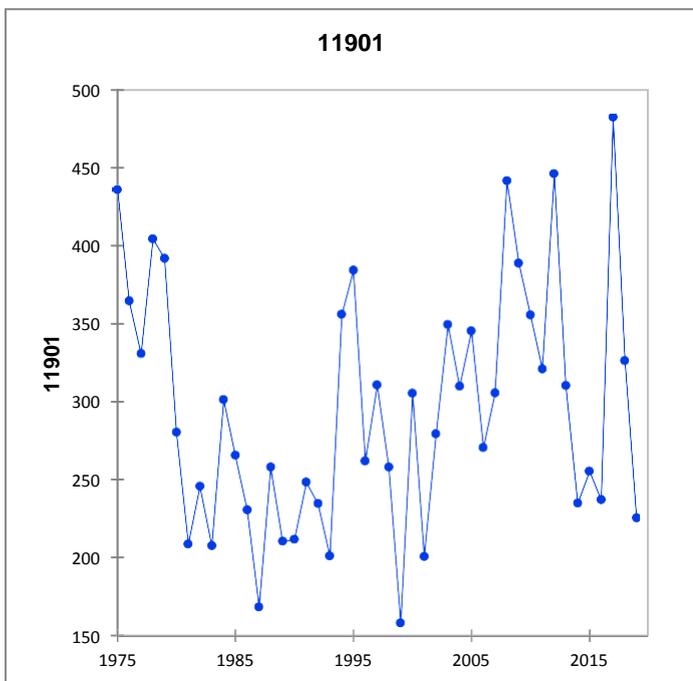
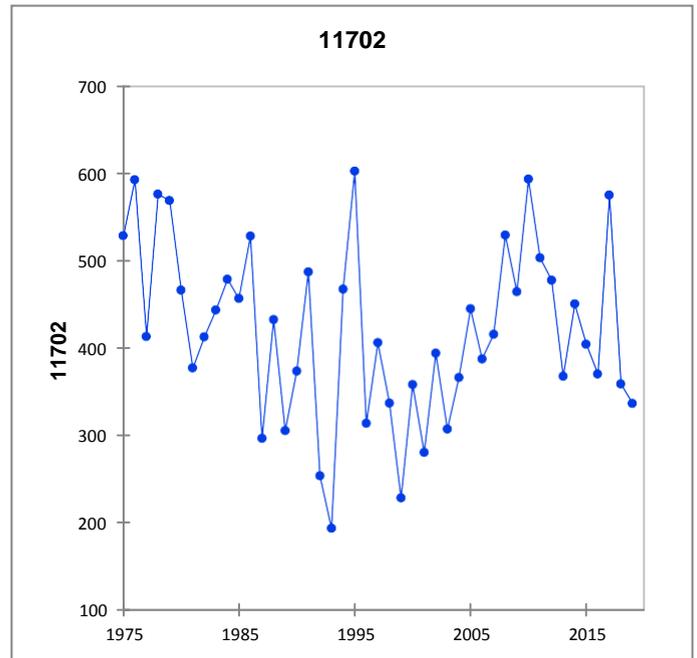
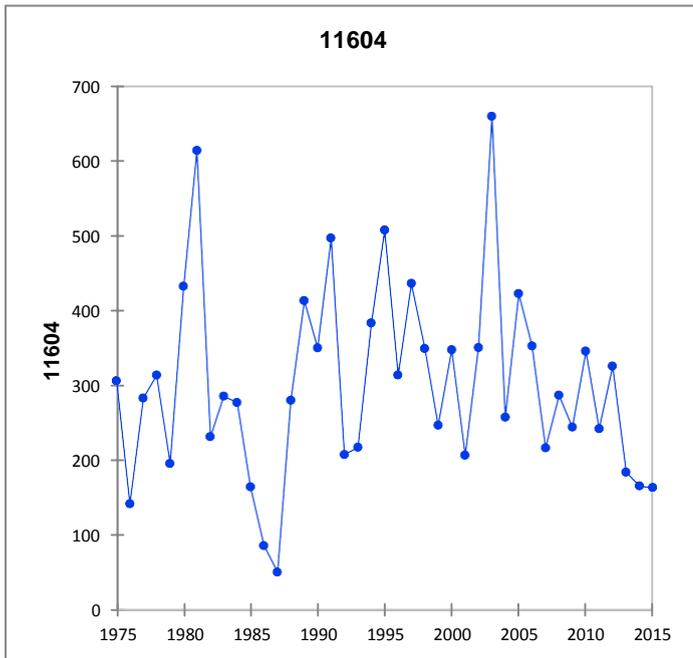
Annexe 04

1. Test d'homogénéité des quatre stations

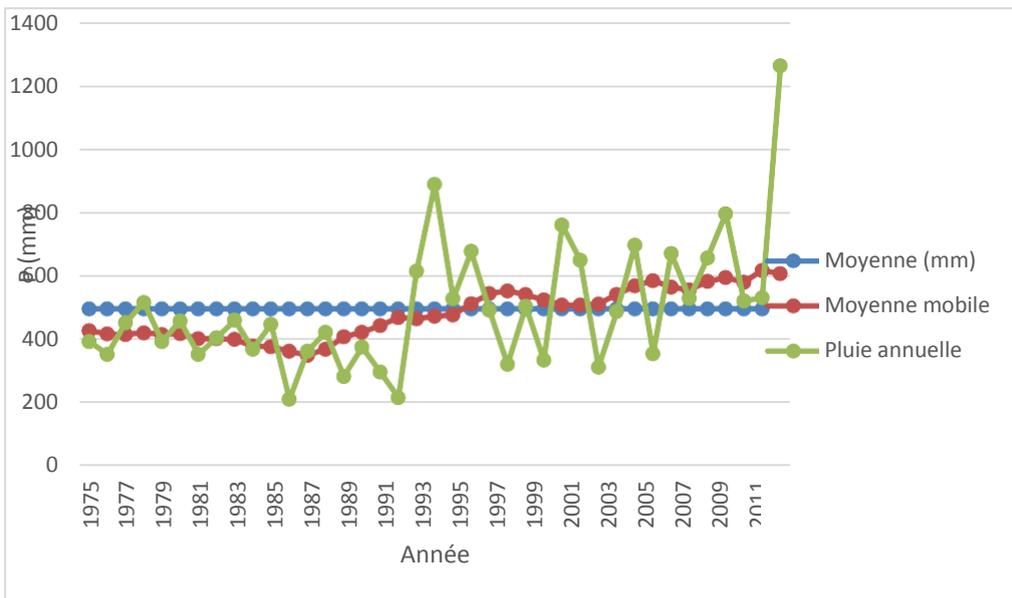


Annexe 05

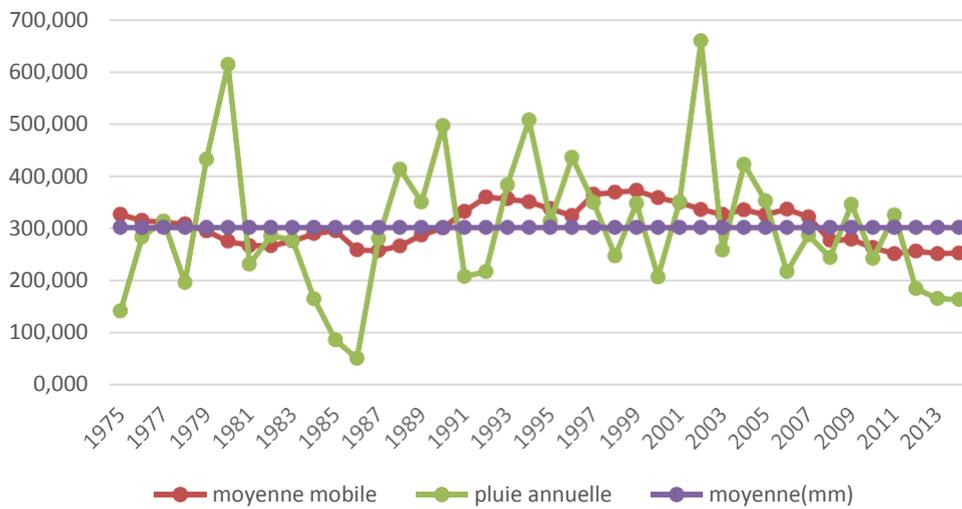
Test de tendance de Mann Kendall



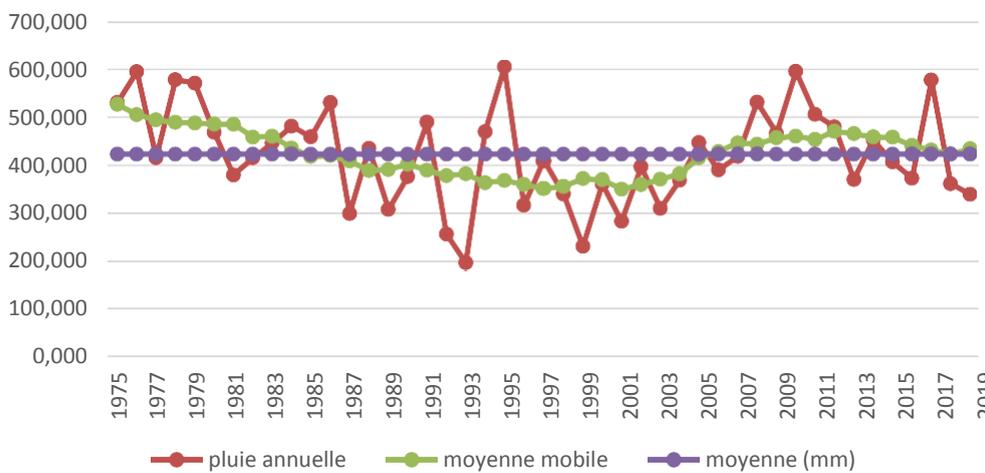
Annexe 06

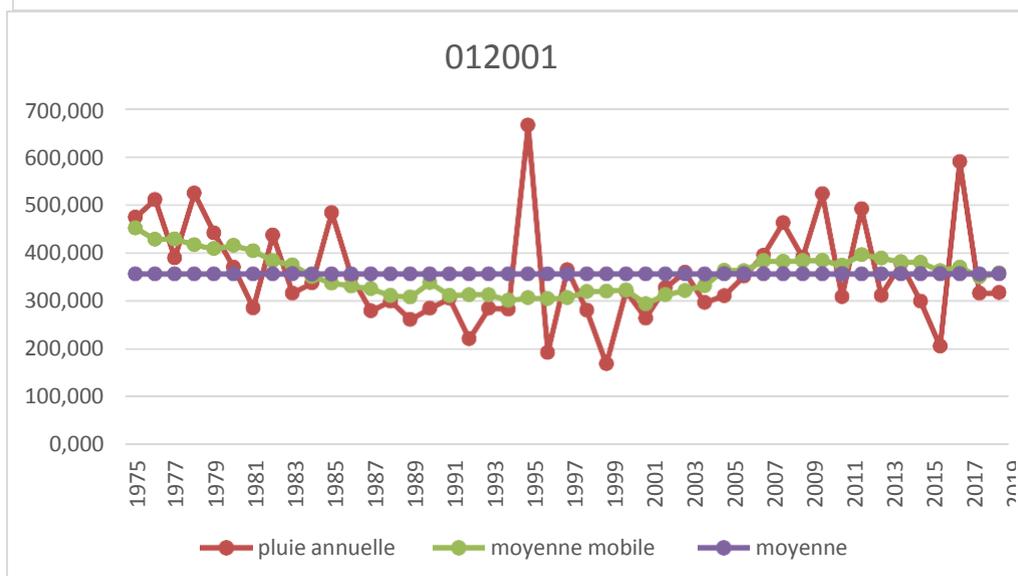
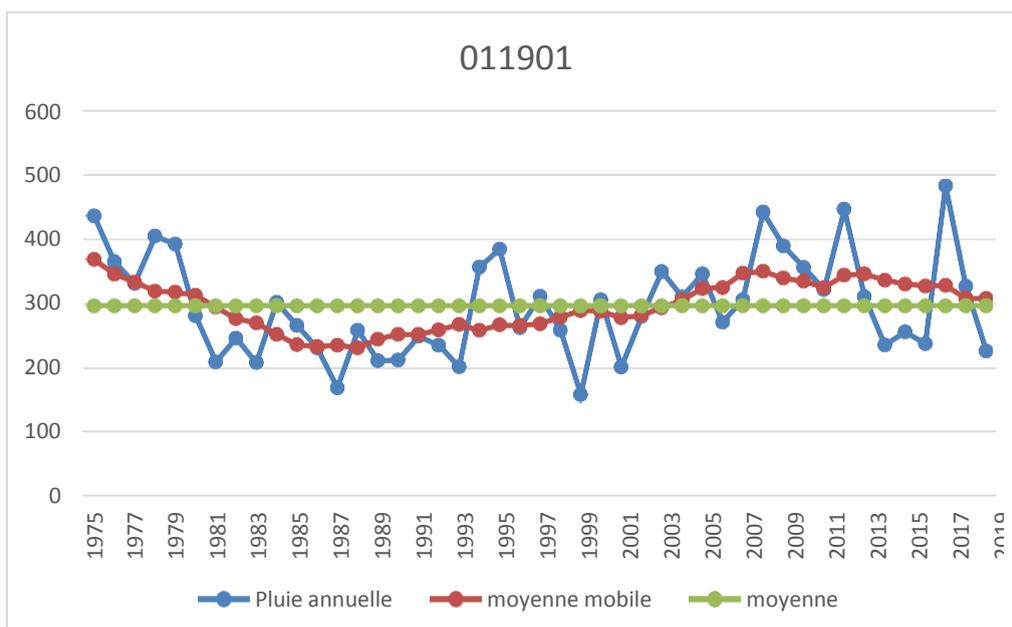


011604



011702





les différentes périodes de retour des stations étudiées

Période de retour	2ans	5 ans	10 ans	50 ans	100 ans
011604 (pmm)	301,06	409,45	465,8	564,71	599,62
011702 (pmm)	420,93	505,92	550,35	628,33	655,86
011901(pmm)	295,4	361,54	396,12	456,18	456,78
012001(pmm)	356,06	444,81	491,2	572,63	601,38