

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

**Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –**

**Faculté de TECHNOLOGIE**



**Projet de Fin d'Etudes**

Pour l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique

Option : Hydraulique Urbaine

Présenté par :

**Yles Oussama**

Thème :

**Analyse des tendances et la détection des modifications temporelles  
dans les séries hydrométéorologiques dans le bassin versant de la  
Mekerra aval**

Soutenu le 28 /09/2022 , devant le jury composé de

Mme FANDI Wassila	M.A.A	Université de Tlemcen	Présidente
Mme ADJIM Hayat	M.C.B	Université de Tlemcen	Examinatrice
Mr GHENIM Abderrahmane	Professeur	Université de Tlemcen	Encadreur
Mr BENABDELKRIM M.El Amin	Doctorant	Université de Tlemcen	Co-Encadreur

**ANNEE UNIVERSITAIRE 2021/2022**

# *Remerciements*

En premier lieu, je remercie Dieu, le tout puissant de m'avoir aidé et donné la foi et le courage pour accomplir ce travail.

Toute ma reconnaissance et mon respect vont à mon encadreur, Monsieur le professeur **GHENIM ABDERRAHMANE NEKKACHE**, qui a accepté de diriger ce travail. Je me permets de saluer chez lui sa modestie et son accessibilité. Il m'a fait bénéficier de son savoir, de son expérience et de la clairvoyance de ses opinions que je ne peux que saluer. Je remercie aussi mon co-encadreur Mr **BENABDELKRIM Mohamed EI Amin** pour son aide précieuse.

À la présidente du jury

**Mme Fandi Wassila**

De m'avoir fait l'honneur d'accepter avec une très grande amabilité de siéger à mon  
Mémoire comme présidente de jury.

Veillez trouver ici, le témoignage de mon respect et ma profonde reconnaissance.

A mon examinatrice

**Mme Adjim Hayat**

Pour l'honneur d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je vous témoigne mon profond respect.

Mes derniers remerciements s'adressent à tous mes professeurs et enseignants qui m'ont guidé au cours de toute la formation Master, et à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

**A mon très cher père**

*Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver, te combler de ses grâces infinies et t'accorder santé, longue vie et bonheur.*

**A ma très chère mère**

*Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance.*

**A Mohammed et Youcef, sans oublier Safa,**

*Pour votre grand amour, votre soutien et pour toute l'ambiance dont vous m'avez entouré. Vous occupez une place particulière dans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, plein de bonheur et de succès.*

*Que vous trouviez ici l'expression de ma haute gratitude.*

**A tous mes amis et collègues en particulier**

Nacer, Abdelillah

**A tous les membres de ma famille et surtout**

A ma très chère tante Nassima

# SOMMAIRE

<b>Résumé</b> .....	
<b>Liste des abréviations</b> .....	
<b>Liste des figures</b> .....	
<b>Liste des tableaux</b> .....	
<b>Introduction générale</b> .....	01
<b>Chapitre I : Présentation de la région d'étude</b> .....	04
I.1 Cadre géographique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.....	04
I.2 Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Mekerra .....	06
I.2.1 Surface et périmètre du bassin versant.....	06
I.2.2 Forme du bassin.....	06
I.2.3 Notion du rectangle équivalent.....	07
I.2.4 Altitudes caractéristiques du bassin.....	07
i. Les altitudes maximale et minimale.....	07
ii. L'altitude moyenne.....	07
I.3 Etude du réseau hydrographique.....	08
I.3.1 Densité de drainage.....	09
I.3.2 Rapport de confluence.....	09
I.3.3 Rapport des longueurs.....	09
I.3.4 Fréquence des cours d'eau.....	10
I.3.5 Coefficient de torrentialité.....	10
I.3.6 Temps de concentration.....	10
I.4 Données pluviométriques utilisées.....	10
I.5 Méthodes d'interpolation spatiale des précipitations.....	10
I.5.1 Méthodes déterministes.....	12
I.5.2 Méthodes stochastiques.....	12
I.5.3 La méthode des polygones de Thiessen.....	13
I.5.4 La méthode des isohyètes.....	13
I.5.5 Méthode de pondération de distance inverse IDW.....	13
<b>Chapitre II Méthode d'étude</b> .....	15
II.1 Tests de tendance.....	15
II.1.1 Test de MANN-KENDALL.....	15
II.1.2 L'auto corrélation.....	16
II.1.3 Test de MANN-KENDALL modifié.....	17
II.1.4 Pente de Şen.....	17
II.1.5 Indice de saisonnalité (SI).....	18
II.1.6 Indice de concentration des précipitations (PCI).....	19
II.1.7 Indice de concentration des précipitations journalières (CI). .....	20

II.1.8 Degré de concentration des précipitations (PCD) et période de concentration des précipitations (PCP).....	21
<b>Chapitre III. Résultats obtenus.....</b>	<b>23</b>
III.1 Variation spatio-temporelle des précipitations.....	23
III.1.1 Echelle annuelle.....	23
III.1.2 Echelle saisonnière.....	24
III.1.3 Echelle mensuelle.....	26
III.1.4 Indice de saisonnalité (SI).....	31
III.1.5 Indice de concentration des précipitations (PCI).....	32
III.1.6 Indice de concentration des précipitations journalières (CI).....	33
III.1.7 Degrés et périodes de concentration des précipitations PCD/PCP.....	34
III.2 Tendances des précipitations par la méthode de Mann-KANDALL.....	36
III.2.1 Echelle annuelle.....	36
III.2.2 Echelle mensuelle .....	37
III.2.3 Echelle saisonnière.....	38
III.3 Test de Man-Kendall pour l'indice de saisonnalité (SI).....	39
III.4 Test de Man-Kendall pour PCI.....	40
III.5 Test de Man-Kendall pour CI.....	40
III.6 Test de Man-Kendall pour PCP.....	41
III.7 Test de Man-Kendall pour PCD.....	42
<b>Chapitre IV. Discussions des résultats et conclusion générale.....</b>	<b>43</b>
<b>Références Bibliographiques.....</b>	<b>47</b>

## Résumé :

La variabilité dans la quantité des précipitations et leurs irrégularités dans le temps et dans l'espace, sont les causes principales dans le comportement d'un régime climatique. Des séries de mesure de précipitations ont été utilisées sur 12 stations pluviométriques appartenant au bassin versant de la Mekkerava aval, sur une période de 37 ans.

Ce travail porte sur l'analyse des tendances et la détection des modifications temporelles dans les séries hydrométéorologiques. Pour atteindre cet objectif on a soumis les séries pluviométriques à un ensemble de tests et procédures tels que le test Man Kendall, Man Kendall modifié, la pente de Şen, l'indice de saisonnalité SI, l'indice de concentration des précipitations PCI, l'indice de concentration journalier CI, le PCD et le PCP. Pour cela, des logiciels ArcGIS, et Rstudio ont été utilisés.

Les résultats montrent un système très irrégulier, une tendance à la baisse avec des régimes saisonniers et nettement saisonniers avec une longue saison sèche.

**Mots-Clefs :** bassin versant, tendances, indice pluviométrique, Oued Mekerra aval

## Abstract:

The variability in the amount of precipitation and its irregularities in time and space are the main causes in the behavior of a climatic regime. Precipitation measurement series were used on 12 rainfall stations belonging to the Mekkerava watershed, over a period of 37 years. This work focuses on the analysis of trends and the detection of temporal changes in hydrometeorological series. To achieve this objective, the rainfall series were subjected to a set of tests and procedures such as the Man Kendall test, modified Man Kendall, the slope of Şen, the seasonality index SI, the precipitation concentration index PCI, the daily concentration index CI, PCD and PCP. For this, ArcGIS and Rstudio software were used. The results show a very irregular system, a downward trend with seasonal and clearly seasonal regimes with a long dry season.

**Key- Words:** watershed, trends, rainfall index, Mekerra aval Wadi

## ملخص :

التباين في كمية هطول الأمطار وعدم انتظامها في الزمان والمكان هي الأسباب الرئيسية في سلوك النظام المناخي. تم استخدام سلسلة قياس هطول الأمطار في 12 محطة لهطول الأمطار تابعة لمستجمعات المياه في مكيرة ، على مدار 37 عامًا. يركز هذا العمل على تحليل الاتجاهات وكشف التغيرات الزمنية في سلسلة الأرصاد الجوية المائية. لتحقيق هذا الهدف ، خضعت سلسلة هطول الأمطار لمجموعة من الاختبارات والإجراءات مثل اختبار Man Kendall ، تعديل Man Kendall ، منحدر Şen ، مؤشر الموسمية SI ، مؤشر تركيز الترسيب PCI ، مؤشر التركيز اليومي CI ، PCD و PCP. لهذا الغرض ، تم استخدام برنامج ArcGIS و Rstudio ، وأظهرت النتائج نظامًا غير منتظم للغاية ، واتجاهًا هبوطيًا مع الأنظمة الموسمية والموسمية بوضوح مع موسم جاف طويل.

## Liste des abréviations

**Kc** : indice de compacité.

**Tc** : Temps de concentration.

**Rc** : Rapport de confluence.

**Dd** : Densité de drainage.

**Ct** : Coefficient de torrentialité.

**Cv** : Coefficient de variation.

**IDW** : Méthode de pondération de distance inverse.

**MK** : Test de Mann-Kendall.

**MK<sub>m</sub>** : Test de Mann-Kendall modifié

**R** : Indice de corrélation

**SI** : Indice de saisonnalité

**PCI** : Indice de concentration des précipitations.

**CI** : Indice de concentration journalier.

**PCD** : Degré de concentration des précipitations.

**PCP** : Période de concentration des précipitations.

**A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources hydrauliques.

## Liste des tableaux

N°	Intitulé des tableaux	Page
1	Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Mekerra aval	8
2	Paramètres morphométriques du bassin de l'oued Mekerra	11
3	Caractéristiques des stations pluviométriques retenues	12
4	Différentes classe de SI	19
5	Classification proposée par (Olivier 1980)	20
6	Caractéristiques interannuelles des précipitations	24
7	Moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période 1974/1975- 2010/2011) pour différentes stations du bassin	27 31
8	Variabilité de l'indice de saisonnalité SI	32
9	Variabilité des PCI pour différentes stations du bassin	34
10	Variabilité des CI pour différentes stations du bassin	35
11	Variation des PCD/PCP pour différentes stations du bassin	36
12	Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié	38
13	Résultat du Test de Mann-Kendall Et Mann-kendall Modifier	38
14	Test de Mann-Kendall Et Mann-Kendall Modifier pour les précipitations saisonniers	39
15	Test de Man-Kendall pour (SI).	39
16	Résultat du Test de Mann-Kendall (PCI)	40
17	Test de Man-Kendall et Man-Kendall modifié pour (CI)	41
18	Test de Man-Kandall pour PCP	41
19	Test de Man-Kendall et Man-Kendall modifié pour PCD	42



## Liste des figures

N°	Intitulé des figures	Page
1	Limite du bassin versant de la Mekerra aval	4
2	Situation du bassin versant de l'Oued Mekerra aval et localisation des stations utilisées	5
3	Situation hydrographique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval	23
4	Variation interannuelle des précipitations	24
5	Répartitions des précipitations interannuelles (mm) dans le bassin versant de la Mekerra	25
6	Variation moyenne saisonnière des précipitations	26
7	Répartitions des précipitations saisonnières	27
8	Variation mensuelle des précipitations	30
9	Répartitions des précipitations mensuelles	31
10	Variation de l'indice de saisonnalité (SI)	31
11	Variation de l'indice de concentration des précipitations (PCI)	33
12	Variation de l'indice de concentration (CI)	34
13	Représentation graphique du PCD	35

## INTRODUCTION GENERALE

L'étude des séries météorologiques est d'une grande importance en hydrologie et en climatologie. Bien que le climat d'une région soit en constante évolution, les changements ne se produisent généralement pas à une échelle de temps qui nous est immédiatement évidente.

Un aspect important de notre climat est sa variabilité. Cette variabilité s'étend sur de nombreuses échelles de temps et d'espace et comprend des phénomènes de sécheresse, des changements sur plusieurs années, plusieurs décennies et même plusieurs siècles sur la température et les précipitations. Certains exemples de variabilité à plus long terme peuvent inclure une série d'Hivers anormalement doux ou exceptionnellement rigoureux, et même un Hiver doux suivi d'un Hiver rigoureux.

Un changement dans un élément météorologique peut entraîner des changements dans le climat régional. Par exemple, si la température régionale moyenne augmente de manière significative, cela peut affecter la quantité de nébulosité ainsi que le type et la quantité de précipitations qui se produisent. Si ces changements se produisent sur de longues périodes, les valeurs climatiques moyennes de ces éléments seront également affectées. Les changements dans la variabilité du climat et les phénomènes météorologiques et climatiques extrêmes ont fait l'objet d'une attention accrue ces dernières années. En effet, plusieurs études ont été réalisées en analysant l'évolution de la pluviométrie dans diverses parties du globe et à différentes échelles temporelles (Vannikov et al 1990), (Balling et al 1990), (Zai et al 2003), (Gautam, 2016).

En Afrique sahélienne, beaucoup d'auteurs ont mis en évidence, à partir des séries hydro-pluviométriques, une phase sèche qui a débuté vers les années 1970 et qui perdure jusqu'à présent. Dans cette région, il a été constaté une diminution du nombre de jours de pluie et la pluviométrie annuelle (Servat et al 1999). En Afrique de l'ouest et plus particulièrement au Sénégal, Guinée, Guinée Bissau) une tendance à la baisse des précipitations a été détectée au début des années 1960, jusqu'au début de la décennie 1990 (Hubert et al 1989), (Mahé et Olivery 1995), (Briquet et al 1997). Au niveau de l'Afrique Soudano-sahélienne cette estimation est de l'ordre de 27% et 13% respectivement pour ces mêmes décennies. Ce phénomène n'a pas épargné l'Algérie. En effet, l'Algérie est confrontée aujourd'hui à un manque d'eau important dû à la semi-aridité de son territoire, aux faibles précipitations et à la sécheresse qui sévit d'année en année. (Yles. F 2014)

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant de Septembre à Mai et un été sec et chaud. Le pays a subi des périodes de sécheresse très sévères avec des augmentations de la température moyenne annuelle variant de 0,65 à 1,45 °C entre 1970 et 2004, une moyenne comparable à la hausse moyenne planétaire observée sur la période 1906-2006 (ONM 12/2006).

Ainsi, l'Algérie est passée depuis les 30 dernières années à un déficit hydrique sévère et persistant sur plusieurs années, issue d'un déficit pluviométrique évalué à 30 % (FAO 2008). Une baisse donc considérable, a été relevée dans plusieurs régions du Nord (Meddi et Meddi, 2009), (Taibi *et al.*, 2015). Dans le Nord-Ouest algérien, le déficit pluviométrique a atteint 36 %, (Ghenim et Megnounif, 2013) conduisant à la baisse sévère des écoulements de surface. Dans la Haute Tafna, le ruissellement a diminué de 69 % (Ghenim *et al.*, 2010). Sachant que la recharge des nappes d'eau est assurée essentiellement par les précipitations.

Dans le contexte actuel, les tendances de la variabilité des précipitations, à différentes échelles de temps, sont en diminution significative. (Piervitali et Colacino 2003), (IPCC, 2001), (Türkeş et al., 2008), (Philandras et al., 2011), (Tramblay et al., 2013). Les pays Nord africains, et spécifiquement l'Algérie présentent une sensibilité accrue à la variabilité climatique, et aux précipitations en particulier, en raison de leurs effets sur les structures économique, sociale et démographique. En effet, l'accroissement des phénomènes climatiques extrêmes (crues, inondations) dans plusieurs régions de l'Algérie et leur médiatisation ont contribué à tirer la sonnette d'alarme sur cette situation.

L'objectif de ce travail est de faire l'analyse des tendances et la détection des modifications temporelles dans les séries hydrométéorologiques. Des séries de mesure de précipitations ont été utilisés, pour détecter les changements dans les séries chronologiques climatiques. Dans cette étude, un ensemble d'indices de saisonnalité des précipitations a été appliqué aux séries chronologiques de précipitations annuelles liés à 12 stations, afin d'explorer le schéma spatial de la saisonnalité et des régimes des précipitations à travers le bassin de la Mekerra. Les indices utilisés pour la définition des précipitations la saisonnalité à l'échelle de temps annuelles sont la concentration des précipitations (PCI, Oliver 1980), la saisonnalité des précipitations (SI, Walsh et Lawler 1981), le degré de la concentration des précipitations (PCD) et période (PCP) proposés par Zhang et Qian (2003). Viens ensuite l'étude de la concentration quotidienne des précipitations (CI) proposé par Martin-Vide (2004) pour mesurer comment la quantité de pluie quotidienne inégale est répartie sur l'année. Les variations temporelles et les tendances des indices utilisés ont été également évaluées à l'aide du test de tendance de Mann-Kendall (Mann 1945 ; Kendall 1975) et Mann-Kendall modifié.

Dans ce contexte le bassin versant de l'oued Mekerra qui appartient au bassin versant de la Mactaa a fait l'objet de cette étude.

Ce mémoire comprend 4 chapitres principaux. Le premier est consacré à la présentation de la zone d'étude ainsi que les données utilisées, le second à la méthode d'étude, le troisième aux résultats obtenus et le quatrième à la discussion des résultats et à la conclusion générale du travail.

# Chapitre I

## PRESENTATION DE LA REGION D'ETUDE

### I.1 Cadre géographique du bassin versant de l'Oued Mekerra aval.

Le bassin versant d'Oued Mekera fait partie du grand bassin de la Macta qui s'étend au Nord-Ouest de l'Algérie dans les derniers contreforts tabulaires du versant sud de l'Atlas Tellien qui est formé par les monts de Tlemcen, de Daïa et de Saida. Il est compris entre la latitude nord  $34^{\circ}$  et  $36^{\circ}$  et la longitude ouest  $-1^{\circ}14'$  et  $-0^{\circ}32'$  (Figure 1). La longueur du thalweg principal est de 70Km (selon ANRH)

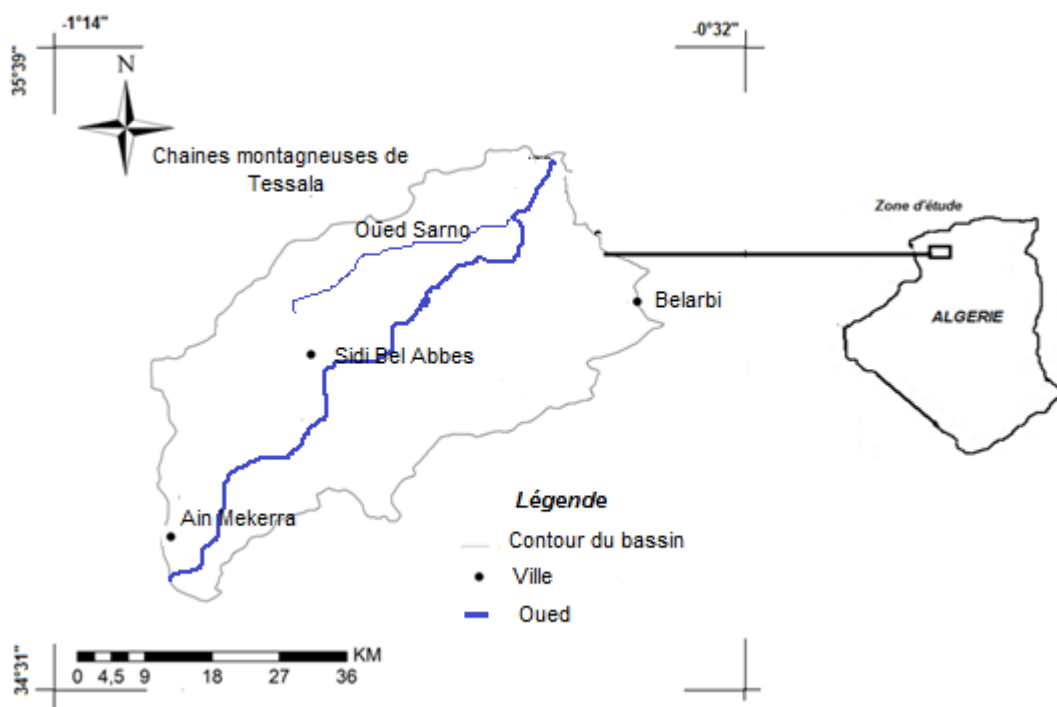


Figure 1 : Limite du bassin versant de la Mekerra aval

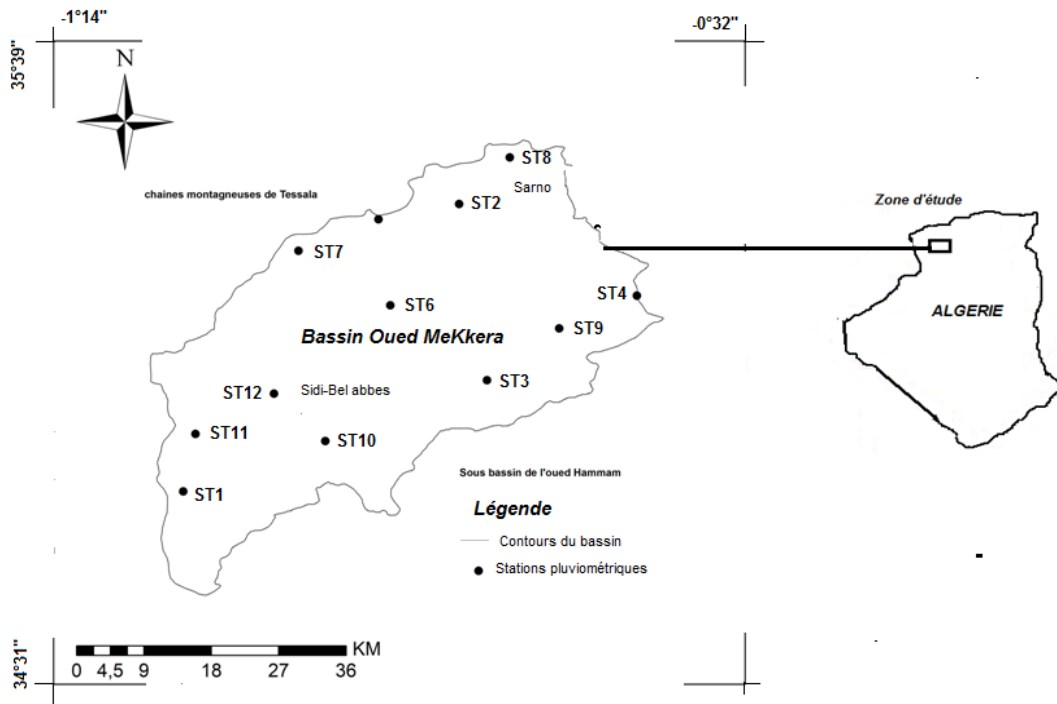


Figure 2. Situation du bassin versant de l'Oued Mekkera aval et localisation des stations utilisées

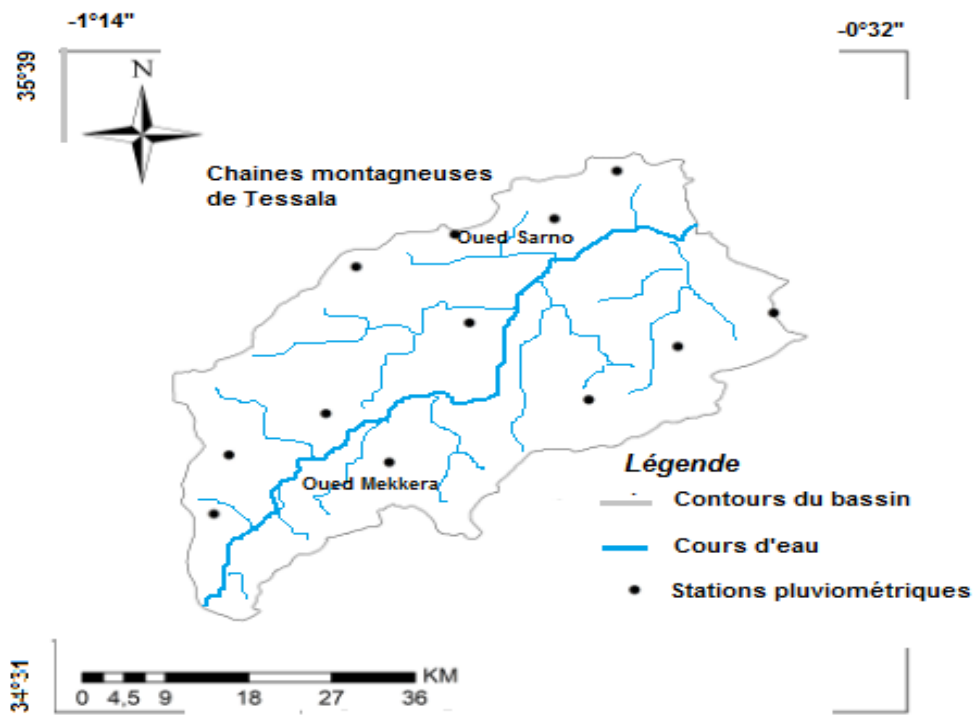


Figure 3 : Situation hydrographique du bassin versant de l'Oued Mekkera aval

## I.2 Caractéristiques physiques du bassin d'Oued Mekerra

Les caractéristiques physiographiques d'un bassin versant influencent fortement sa réponse hydrologique. Parmi les caractéristiques morphologiques nous citons en premier lieu, la taille du bassin (sa surface), sa forme, sa pente et son orientation. A ces facteurs s'ajoutent encore le type de sol, le couvert végétal et les caractéristiques du réseau hydrographique. Ces facteurs physiques, s'estiment aisément à partir de cartes adéquates ou en recourant à des techniques digitales et à des modèles numériques. Pour le cas de notre étude, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS pour la digitalisation, ainsi que pour la détermination du modèle numérique du terrain (M.N.T).

### I.2.1 Surface et périmètre du bassin versant.

Le bassin versant c'est l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau. La détermination de la surface du bassin versant ainsi que son périmètre est obtenue par la technique de digitalisation. Cette dernière a permis de déterminer avec précision la surface du bassin versant qui est de 1744 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 228 Km (figure 2).

### I.2.2 Forme du bassin.

La nature de la forme d'un bassin, influence énormément l'écoulement et détermine l'allure de son hydrogramme. Un bassin très allongé ne réagit pas de la même manière qu'un autre bassin de forme très ramassés ayant évidemment les mêmes caractéristiques Roche (1963).

Généralement, la forme d'un bassin versant est relative à l'indice de compacité de Gravelius. Ce dernier est déterminé en comparant le périmètre (P) du bassin à celui d'un cercle possédant la même superficie (A).

$$K_G = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

$K_G$  : Indice de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant (Km).

A : Surface du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

Sur le plan morphologique, l'indice de compacité  $K_G$  est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire, est supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme allongée.

Pour le cas du bassin versant de l'oued Mekkera, la valeur du coefficient de compacité  $K_G = 1,53$  indique que le bassin est de forme plutôt allongée.

### I.2.3 Notion du rectangle équivalent.

Ce paramètre traduit l'influence de la forme géométrique du bassin sur les écoulements. Le rectangle équivalent s'identifie par une simple transformation géométrique du contour du bassin en un rectangle de même surface (A), de périmètre (P), de longueur (L), de largeur (l), indice de compacité  $K_C$ , les courbes de niveau devenant des droites parallèles aux petites côtes et les exutoires du bassin versant étant assimilées à l'un de ces petits côtés du rectangle. La longueur du rectangle est déduite à partir de la relation suivante :

$$L = \frac{K_C \cdot \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (2)$$

$$l = \frac{K_C \cdot \sqrt{S}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right] \quad (3)$$

L'application de la relation (1) et (2) donne  $L = 94,9$  Km. Et  $l = 18,33$  Km

### I.2.4 Altitudes caractéristiques du bassin

#### i. Les altitudes maximale et minimale

Elles sont obtenues directement à partir de la carte topographique. Ces deux données déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente. Pour le cas du bassin versant Mekkera :

$$H_{\max} = 1112\text{m} \text{ et } H_{\min} = 317\text{m}.$$

$H_{\max}$  : l'altitude maximale du bassin

$H_{\min}$  : L'altitude minimale du bassin

#### ii. L'altitude moyenne.

L'altitude moyenne se déduit à partir d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :



$$H_{moy} = \sum \frac{A_i \cdot h_i}{A} \quad (4)$$

$$H_{moy} = 586m$$

$H_{moy}$  : Altitude moyenne du bassin (m);

$A_i$  : Aire comprise entre deux courbes de niveau (Km<sup>2</sup>) ;

$h_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m) ;

$A$  : Superficie totale du bassin versant (Km<sup>2</sup>).

**Tableau 1 : Paramètres morphométriques du bassin de l'oued Mekerra.**

Caractéristiques	Paramètres	Symbole	Unités	Valeurs
<b>Morphologie du bassin versant</b>	Surface	A	Km <sup>2</sup>	1744,8
	Périmètre	P	Km	228
	Coefficient de Gravelius	K <sub>G</sub>	-	1,53
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	94,9
	Largeur du rectangle équivalent	l	Km	18,31
<b>Relief</b>	Altitude maximale	H <sub>max</sub>	m	1112
	Altitude minimale	H <sub>min</sub>	m	317
	Altitude moyenne	H <sub>i</sub>	m	586

### I.3 Etude du réseau hydrographique.

Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique, est sans doute une des caractéristiques les plus importantes du bassin (figure 3). Il peut donc prendre une multitude de formes. Les caractéristiques d'un réseau hydrographique et définie par les quatre facteurs suivants :

- Géologie : La nature du substratum influence la forme du réseau hydrographique
- Climat : Le réseau hydrographique est dense dans les régions montagneuses très humides et tend à disparaître dans les régions désertiques.
- Pente du terrain : Elle détermine si les cours d'eau sont en phase érosive ou sédimentaire.
- Cours d'eau : Dans les zones plus élevées, les cours d'eau participent souvent à l'érosion de la roche sur laquelle l'écoulement est présent. Contrairement, dans les plaines les cours d'eau s'écoulent sur un lit où la sédimentation prédomine.

Divers paramètres sont utilisés pour définir le réseau hydrographique, parmi les plus importants nous citons la densité de drainage ( $Dd$ ), le rapport de confluence ( $Rc$ ), le rapport des longueurs ( $Rl$ ), la fréquence des cours d'eau ( $Fs$ ) et le temps de concentration ( $Tc$ ).

### **I.3.1 Densité de drainage**

La densité de drainage est définie par la relation suivante :

$$Dd = \sum L / A \quad (5)$$

$Dd$  : Densité de drainage en km/km<sup>2</sup>

$L$  : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

$A$  : Aire du bassin en km<sup>2</sup>.

### **I.3.2 Rapport de confluence**

Il est défini par la relation suivante :

$$Rc = N_n / N(n+1) \quad (6)$$

$Rc$  : Rapport de confluence.

$N_n$  : Nombre de cours d'eau d'ordre  $n$ .

### **I.3.3 Rapport des longueurs**

Le rapport des longueurs est calculé par la relation suivante :

$$R_L = L(N+1) / L_n \quad (7)$$

$R_L$  : Rapport des longueurs

$L_n$  : Longueur de cours d'eau d'ordre  $n$ .

### **I.3.4 Fréquence des cours d'eau**

Elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface. Elle est obtenue à partir du rapport du nombre de cours d'eau (N) à la surface totale (A) du bassin. Elle est calculée par la relation suivante :

$$F_s = N / A \quad (8)$$

$F_s$  : Fréquence des cours d'eau

N : Nombre de talweg

A : Surface du bassin en Km<sup>2</sup>

### **I.3.5 Coefficient de torrentialité**

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage :

$$C_t = D_d \cdot F_1 \quad (9)$$

$D_d$  : Densité de drainage

$F_1$  : Fréquence des thalwegs élémentaires  $F_1 = N_1 / A$  avec  $N_1$  : nombre de cours d'eau d'ordre 1

### **I.3.6 Temps de concentration**

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire, pour son calcul, nous faisons appel à la formule de Giandotti.

$$T_c = 4 (A + 1,5 L)^{\frac{1}{2}} / 0,8 (H_{moy} - H_{min})^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$T_c$  : Temps de concentration (heures)

A : Superficie du bassin (km<sup>2</sup>)

L : longueur du thalweg principal (km)

$H_{moy}$  : Altitude moyenne (m)

$H_{min}$  : Altitude minimale (m)

**Tableau 2 : Paramètres hydrographiques du bassin de l'oued Mekerra.**

Caractéristiques Paramètres		Symbole	Unités	Valeurs
<b>Réseau hydrographique</b>	Densité de drainage	D <sub>d</sub>	Km/km <sup>2</sup>	0,21
	Temps de concentration	T <sub>c</sub>	Heure	11,5
	Coefficient de torrentialité	C <sub>t</sub>	-	0,007
	Fréquence des cours d'eau	F <sub>s</sub>	-	0,047
	Rapport des confluences	R <sub>c</sub>	-	8,05

#### **I.4 DONNEES PLUVIOMETRIQUES UTILISEES**

Notre étude est réalisée à partir des données collectées durant la période allant de 1974/1975 à 2010/2011. Pour les besoins de cette étude, nous avons sélectionnés 12 stations pluviométriques, réparties sur notre zone d'étude.

Les données sont fournies par les services de l'A.N.R.H (Agence Nationale des Ressources Hydriques). Le tableau 3, représente les caractéristiques des stations pluviométriques utilisées. Le logiciel Arc-Gis a été utilisé pour l'établissement des cartes pluviométriques.

**Tableau 3 : Caractéristiques des stations pluviométriques retenues**

Station	Code ANRH	X (°)	Y (°)	Z (m)
Ben badis	110307	-0,90	34,95	732
Sarnos bge	110304	-0,57	35,30	425
Hassi daho	110309	-0,54	35,09	642
Mostpha ben brahim	110312	-0,36	35,19	596
Ain trid	110314	-0,67	35,28	530
Bel-Abbes	110305	-0,65	35,18	470
Tessala	110313	-0,76	35,24	580
Ain berd	110315	-0,51	35,36	492
Sidi lahcene	110318	-0,45	35,15	501
Tabia	110322	-0,73	35,01	617
Hassi zahana	110317	-0,89	35,02	630
Lamtar	110310	-0,79	35,07	552

### **I.5 METHODES D'INTERPOLATION SPATIALE DES PRECIPITATIONS :**

Quand une région est couverte par un réseau pluviométrique comportant plusieurs stations, il serait très intéressant d'estimer la hauteur pluviométrique moyenne arrosant une zone ou l'ensemble de la région étudiée. Pour cela, on a recours aux outils d'interpolation. Ceux-ci sont divisés généralement en méthodes déterministes et géostatistiques :

**I.5.1 Méthodes déterministes** : elles supposent une modélisation déterministe du phénomène. Ces méthodes se basent alors sur des propriétés purement mathématiques, généralement géométriques, sans tenir compte du phénomène physique qui nous intéresse.

**I.5.2 Méthodes stochastiques** : elles supposent une modélisation probabiliste du phénomène, dont les observations résultent de la réalisation de variables aléatoires ; ces méthodes font alors appel à des modèles découlant de l'analyse statistique des données considérées.

### I.5.3 La méthode des polygones de Thiessen :

Elle convient notamment quand le réseau pluviométrique n'est pas homogène spatialement (pluviomètres distribués irrégulièrement). Elle affecte à chaque pluviomètre une zone d'influence dont la surface exprimée en %, représente le facteur de pondération de la valeur de l'enregistrement.

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=0}^n A_i \cdot P_i}{A} \quad (11)$$

Avec :

$A_i$  : Surface d'influence du pluviomètre  $i$  en  $\text{Km}^2$ .

$P_i$  : Précipitation au poste  $i$  en mm.

$A$  : Surface du bassin versant en  $\text{Km}^2$ .

### I.5.4 La méthode des isohyètes

Les isohyètes sont des lignes de même pluviosité (iso-valeurs de pluies annuelles, journalières, etc.) tracées grâce aux valeurs pluviométriques acquises aux stations du bassin et aux autres stations avoisinantes. Lorsque les courbes isohyètes sont tracées, la pluie moyenne peut être calculée de la

$$P_{moy} = \frac{\sum_{i=0}^n A_i \cdot P_i}{A} \quad \text{Avec} \quad P_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \quad (12)$$

Avec :

$P_{moy}$  : Précipitation moyenne sur le bassin.

$A_i$  : Surface entre deux isohyètes  $i$  et  $i+1$  en  $\text{Km}^2$ .

$P_i$  : Précipitation au poste  $i$  en mm.

$A$  : Surface totale du bassin versant en  $\text{Km}^2$ .

### I.5.5 Méthode de pondération de distance inverse IDW

Cette méthode est une méthode locale d'interpolation. Dans cette méthode, la valeur à estimer en un point de la zone d'étude est déterminée à l'aide de la moyenne pondérée des valeurs des points les plus proches du point considéré. Au début, on mesure donc la distance entre le point recherché et les points connus aux alentours.

Dans la suite, le calcul du point recherché se fait grâce à la moyenne des valeurs des points environnants. Ainsi, plus le point à interpoler est proche d'un point dont on connaît sa valeur, plus la valeur du point à interpoler sera proche de la valeur connue. La distance D entre le point recherché et les points connus aux alentours est définie de la manière suivante:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (13)$$

La forme générale de cette méthode est donnée comme suit :

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i^\beta} Z_i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i^\beta}} \quad (14)$$

avec :

N : nombre de stations météorologiques utilisées.

Z<sub>p</sub> : Valeur au point d'intérêt.

Z<sub>i</sub> : Valeur à l'i-ème point donné.

D<sub>i</sub> : Distance entre l'i-ème point donné et le point d'intérêt.

β : Puissance de D<sub>i</sub>.

# Chapitre II

## Méthode d'étude

### II.1 TESTS DE TENDANCE

#### II.1.1 Test de MANN-KENDALL

Le test de Mann-Kendall est un test non paramétrique basé sur le rang. Il permet de mesurer le degré de signification de la tendance et les ruptures de stationnarité dans les séries hydrométéorologiques (Mann 1945), (Paturel et Servat 1996).

Ce test consiste à calculer pour chaque élément  $X_i$ , ou pour chaque élément  $Y_i$ , le nombre  $n_i$  d'éléments  $Y_j$  qui le précèdent ( $i > j$ ) tels que :  $Y_i > Y_j$  avec :  $i =$  Chronologie de la série de la statistique  $t$  est donné par l'équation suivante :

$$t = \sum_i n_i \quad (15)$$

Et sous l'hypothèse nulle ( $H_0$ : Absence de tendance), sa loi de répartition est asymptotiquement une loi normale de moyenne.

$$E(t) = n(n-1) / 4 \quad (16)$$

$$\text{La variance : } \text{Var}(t) = n(n-1)(2n+5) / 72 \quad (17)$$

$$\text{Alors : } U(t) = (t - E(t)) / \sqrt{\text{Var}(t)} \quad (18)$$

Et nous déterminons à l'aide d'une table de la loi normale réduite  $\alpha_2$  tel que :

$$\alpha_2 = P(|U| > |U(t)|) \quad (19)$$

L'hypothèse nulle est acceptée ou rejetée au niveau de signification  $\alpha_0$  pour un seuil de 0.05 :

Si :  $\alpha_0 > \alpha_2$  alors  $H_0$  est acceptée

Si :  $\alpha_0 < \alpha_2$   $H_0$  est rejetée

Lorsque les valeurs de  $u(t)$  sont significatives, on conclut une tendance croissante ou décroissante selon que  $u(t) > 0$  ou  $u(t) < 0$  (Sneyers 1975).



Lorsqu'une série présente une tendance significative, pour savoir l'époque favorable à partir de laquelle cette tendance s'est manifestée, la statistique du second test (Mann-Kendall) se prête mieux au calcul progressif et régressif nécessaire à cet effet.

De façon similaire au calcul de  $u(t)$ , qui est un calcul progressif, le calcul régressif de  $u'(t)$  est effectué en commençant par la fin de l'échantillon. Le point d'intersection progressive  $u(t)$  et régressive  $u'(t)$  donne la date du début de la tendance

### II.1.2 L'auto corrélation :

L'auto corrélation se produit dans les études de séries chronologiques lorsque les erreurs associées à une période de temps donnée se répercutent sur les périodes de temps futures. Quelque fois le terme auto corrélation est présenté comme un "décalage corrélation d'une série donnée en elle-même, décalée d'un nombre d'unités de fois alors que la corrélation en série est le décalage de corrélation entre deux séries différentes.

Il existe différents types de corrélation en série. Avec la corrélation sérielle de premier ordre, les erreurs sur une période sont directement corrélées avec les erreurs sur la période suivante. Avec une corrélation sérielle positive, les erreurs d'une période donnée sont positivement corrélées avec les erreurs de la période suivante.

Dans une série de temps  $x$  de longueur  $n$  on considère la paire  $n-1$  des observations d'unité de temps séparément, le premier pair est  $(X [2], X [1])$  et la prochaine est  $(X [3], X [2])$ .

Chacune de ces paires à la formule  $([X[t], [t-1])$ ,  $t$  est l'index de l'observation qui varie de 2 jusqu'à  $n$ . L'auto corrélation est défini par l'équation suivante :

$$\frac{\{-1 - 1,645 * (N - 2)^{0.5}\}}{N - 1} = < R = < \frac{\{1 + 1,645 * (N - 2)^{0.5}\}}{N - 1} \quad (20)$$

$N$  : La taille de l'échantillon

### II.1. 3 - Test de MANN-KENDALL modifié

Dans le cas du Test de MANN KENDALL modifié, une série des données auto-corrélées est utilisée. Sur la base de la valeur modifiée de la variance de la statistique du test de tendance de Mann-Kendall, un test de tendance non paramétrique modifié adapté aux données auto-corrélées est proposé.

Dans ce test, seules les valeurs relatives de tous les termes dans la série  $X_i$  sont utilisées. Par conséquent, la première étape est pour remplacer les valeurs  $X_i$  par leurs rangs  $k_i$ , tels que chaque valeur est attribuée à un ordre de numérotation de 1 à  $N$ .

La deuxième étape comprend le calcul de la statistique  $P$  comme suit :

- Comparer le rang ( $k_1$ ) de la première valeur avec celles des valeurs ultérieures de la seconde à la  $N$ ème valeur.
- Compter le nombre de valeurs ultérieures dont le rang dépasse  $k_1$  et désigne ce nombre par  $N_1$ .
- Comparer le rang de la deuxième valeur ( $k_2$ ) avec celles des valeurs ultérieures, compter le nombre de valeurs ultérieures qui dépassent  $k_2$  et désigner cela par  $N_2$ . Continuez cette procédure pour chaque valeur de temps se terminant par  $k_{N-1}$  et son numéro correspondant à  $(N - 1)$ .

$P$  se calcule par l'équation suivante :

$$P = \sum_{i=1}^{N-1} n_i \quad (21)$$

Le calcul statistique de  $\tau$  est donnée comme suit :

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1 \quad (22)$$

La valeur de la statistique  $\tau$  peut être utilisée comme une base d'un test de signification en le comparant avec :

$$(\tau)_t = 0 \pm \text{tg} \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}} \quad (23)$$

#### II.1.4. Pente de Şen

L'estimation de la pente de Şen a été utilisée pour déterminer l'ampleur des tendances à long terme du débit et des précipitations dans les cours d'eau avec une tendance linéaire supposée dans les séries chronologiques. La pente (variation par unité de temps) des tendances peut être estimée en utilisant une procédure non paramétrique simple proposée par Şen (1968). Récemment, plusieurs études ont utilisé la méthode de l'estimation de la pente de Sen au lieu d'une régression linéaire pour estimer la pente de tendance dans les séries chronologiques météorologiques et hydrologiques.

Les estimations de  $N$  paires de données sont d'abord calculées par :

$$Q_i = \frac{X_j - X_k}{j - k} \quad \text{Pour } i = 1, \dots, N \quad (24)$$

Où  $x_j$  et  $x_k$  sont des valeurs de données aux moments  $j$  et  $k$  ( $j > k$ ), respectivement. La médiane de ces  $N$  valeurs de  $Q_i$  est l'estimation de la pente de  $\hat{\zeta}_n$ . Si  $N$  est impair, l'estimation de la pente de  $\hat{\zeta}_n$  est calculée par

$$Q_{med} = Q_{(N+1)/2} \quad (25)$$

Si  $N$  est pair, alors l'estimation de la pente de  $\hat{\zeta}_n$  est faite par comme suit :

$$Q_{med} = \frac{1}{2} (Q_{N/2} + Q_{[(N+2)/2]}) \quad (26)$$

Les changements totaux au cours de la période d'observation sont estimés en multipliant la pente par le nombre d'années. (Sabzevari, 2015).

### II.1.5 Indice de saisonnalité (SI)

L'indice de saisonnalité, mesure la quantification du degré de variabilité des précipitations tout au long de l'année. (Walsh et Lawler 1981) ont proposés l'indice de saisonnalité des précipitations (SI) défini dans l'équation suivante :

$$SI = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{12} \left| X_n - \frac{R}{12} \right| \quad (27)$$

$X_n$  : Précipitation totale mensuelle.

$R$  : Précipitation totale annuelle.

Cet indice, qui est simplement la somme des écarts absolus des précipitations mensuelles moyennes par rapport aux précipitations mensuelles globales moyenne, divisée par les précipitations annuelles moyennes, il évalue le contraste saisonnier des quantités de précipitations mensuelles à savoir les mois secs ou humides (Walsh et Lawler 1981). En théorie, cet indice peut varier de zéro à 1,83. Dans le tableau 4, sont représenté la classe (SI) pour les différents régimes des précipitations.

**Tableau 4 : Différentes classe de SI**

<b>Classes SI</b>	<b>Régime des précipitations</b>
≤ 0,19	Précipitations uniformément réparties tout au long de l'année
0,20–0,39	Précipitations également réparties tout au long de l'année, mais avec une saison bien plus humide
0,40–0,59	Plutôt saisonnier avec une courte saison plus sèche
0,60–0,79	Saisonnier
0,80–0,99	Nettement saisonnier avec une longue saison sèche
1.00–1.19	La plupart des précipitations concentrées en 3 mois
≥ 1,20	Saisonnalité extrême, avec presque toutes les précipitations en 1 à 2 mois

### II.1.6 Indice de concentration des précipitations (PCI).

Indice de concentration des précipitations (PCI) proposé par Oliver (1980) est l'approche la plus utilisée pour quantifier la distribution des précipitations tout au long de l'année cet indice caractérise différents régimes de précipitations dans une zone d'étude donnée. C'est aussi un indicateur de mesure de la distribution temporelle des précipitations au cours de l'année. Le calcul du PCI se fait à partir de l'équation 13, Oliver (1980).

$$PCI = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \times 100 \quad (28)$$

Pi : Précipitation mensuelle du mois

Théoriquement, les limites PCI se situent entre 8,3 et 100, où la limite inférieure du PCI indique une marche mensuelle des précipitations avec des valeurs égales (c'est-à-dire une distribution uniforme des précipitations tout au long de l'année) et la limite supérieure

indique la concentration des précipitations annuelles totales en un seul mois. (Olivier 1980), à proposer la classification suivante, donnée dans le (tableau 5).

**Tableau 5. Classification proposée par (Olivier 1980)**

<b>Indice de concentration des précipitations (PCI)</b>	<b>Nature de distribution des précipitations</b>
PCI < 10	Distribution uniforme des précipitations
10 < PCI < 15	Dénotent une concentration des précipitations
16 < PCI < 20	Distribution irrégulière
PCI > 20	Forte irrégularité (concentration élevée de précipitation)

De même, une valeur PCI de 16,7 indique à la concentration des précipitations annuelles totales dans la moitié de l'année et un PCI la valeur de 25 est une indication de la concentration annuelle totale précipitations en une seule saison environ. Basé sur ces critères, le coefficient de variation (CV) et le PCI, Oliver (1980) a conclu que PCI est lié à CV

$$PCI = \frac{100}{12} \times \left[ 1 + \left( \frac{Cv}{100} \right)^2 \right] \quad (29)$$

Michiels et al. (1992) ont révélé que lorsque le même la quantité de précipitation mensuelle se produit dans la moitié des mois d'un an, la valeur du PCI double alors que son modèle n'est pas clair lors de l'utilisation de CV. De plus, ils ont constaté que différentes quantités de précipitations avec la même distribution dans une année donne les mêmes valeurs PCI.

### **II.1.7 Indice de concentration des précipitations journalières (CI).**

L'indice de concentration des précipitations quotidiennes (CI) été proposé par Martin-Vide (2004) pour évaluer la concentration des précipitations quotidiennes, c'est-à-dire la contribution jours des précipitations journalières les plus importantes par rapport à la quantité totale. Il est basé sur le fait que la distribution des fréquences de précipitations suit une courbe négative, étant donné que les quantités quotidiennes de précipitations sont inférieures à celles des petites quantités de précipitations à un endroit et à une période donnés, bien que de très rares quantités importantes quotidiennes puissent contribuer à un pourcentage significatif du montant total (Li et al. 2011) ; (Wang et al. 2013) ; (Yeşilirmak et Atatanır 2015).

(i) les valeurs quotidiennes des précipitations ont été classés sur la base d'un intervalle de classe de 1 mm ; (ii) le nombre de jours avec une plage de précipitations entrant dans chaque classe est compté, puis la quantité de précipitations associée est calculée ; (iii) la sommation cumulative de la sortie de l'étape ii est calculée; (iv) le pourcentage cumulé de jours de pluie et les quantités de précipitations sont obtenues sur la base des résultats de l'étape (iii). En suivant les étapes susmentionnées, une courbe exponentielle montrant la relation entre le pourcentage cumulé de précipitations (Y) apportées par les pourcentages cumulés de jours (X) (Martin-Vide 2004); (Li et al. 2011); (Coscarelli et Caloiero 2012). Une fois la polygonale établit l'ajustement de ligne des données est produit par l'équation 30.

$$Y = a \cdot X \cdot \exp (bx) \quad (30)$$

Où  $\alpha$  et  $b$  sont les constantes de régression.

L'indice de concentration des précipitations sera calculé à partir de l'équation 31.

$$CI = \frac{S}{5000} \quad (31)$$

Où  $S$  est l'aire délimitée par la bissectrice du quadrant et la ligne polygonale qui peut être calculée par l'équation 32, (Li et al. 2011 ; Wang et al. 2013). Selon l'équation 31, la valeur  $CI$  est la fraction de  $S$  par surface du triangle inférieur et donne un plus grand  $CI$ , ce qui montre que les précipitations sont plus concentrées pendant quelques jours de pluie de l'année (Martin-Vide 2004); (Li et al. 2011); (Wang et coll. 2013).

$$S = 5000 - \int_0^{100} a \cdot X \cdot \exp (bx) dx \quad (32)$$

D'après la classification, un  $CI$  supérieur à 0,61 est élevé ( $CI > 0,61$ ), un  $CI$  compris entre 0,55 et 0,612 est modéré ( $0,55 < CI < 0,61$ ) et un  $CI$  inférieur à 0,55 est faible ( $CI < 0,55$ )

### **II.1.8 Degré de concentration des précipitations (PCD) et période de concentration des précipitations (PCP).**

Le degré de concentration des précipitations (PCD) et la période de concentration des précipitations (PCP), ont été développés par Zhang et Qian (2003) pour caractériser la durée et la distribution des précipitations dans une seule station. Les deux indices ont été utilisés avec succès pour détecter les concentrations de précipitations sur la base de données mensuelles. Le PCP représente le mois au cours duquel les précipitations totales d'une année sont concentrées et le PCD représente le degré de distribution des précipitations

totales annuelles en 12 mois (Zhang et Qian, 2003). L'idée de base du PCD et du PCP est que la précipitation mensuelle totale est une quantité vectorielle ayant à la fois une amplitude et une direction. Les quantités sont les précipitations totales pour chaque mois, et les directions sont des angles (30 ° par mois) attribués aux 12 mois de l'année et dont la somme (année complète) forme un cercle (360 °). Le PCD et le PCP annuels dans une station peuvent être calculés comme suit :

$$R_i = \sum r_{ij} \quad (33)$$

$$R_{xi} = \sum r_{ij} \cdot \sin\theta_j \quad (34)$$

$$R_{yi} = \sum r_{ij} \cdot \cos\theta_j \quad (35)$$

$$PCP_{ij} = \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \quad (36)$$

$$PCD_{ij} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (37)$$

## Chapitre III

### Résultats obtenus

#### III.1 Variation spatio-temporelle des précipitations

##### III.1.1 Echelle annuelle

La variabilité interannuelle des précipitations durant la période (1974-1975) et 2010/2011) dans la zone d'étude est très remarquable (figure 4). La valeur moyenne des précipitations est de 318 mm. La valeur maximale atteinte en (1984-1985) est de 705 mm enregistré à la station de Sarno (figure 5). Cette valeur représente presque le double de la valeur moyenne, tandis que la valeur minimale (72mm) relevée en (1996-1997) ne représente que 31% de la valeur moyenne et 13% de la valeur maximale. Sur toute la période d'étude, soit 34 années, seuls 17 années sont au-dessous de la moyenne. L'année hydrologique débute en Octobre et s'achève en Mai. Pour la majorité des stations du bassin c'est le mois de Janvier qui reçoit le plus de précipitations (figure 5). Entre autres, on enregistre une période déficitaire de plusieurs années où les précipitations sont inférieures à la moyenne annuelle. C'est là, en effet, que l'on repère les années les plus sèches de la période d'étude. Cette période déficitaire en pluie aura sûrement des conséquences directes sur l'hydraulicité de l'oued Mekerra. Le coefficient de variation ( $Cv= 0,34$ ), indique une forte variabilité (tableau 6).

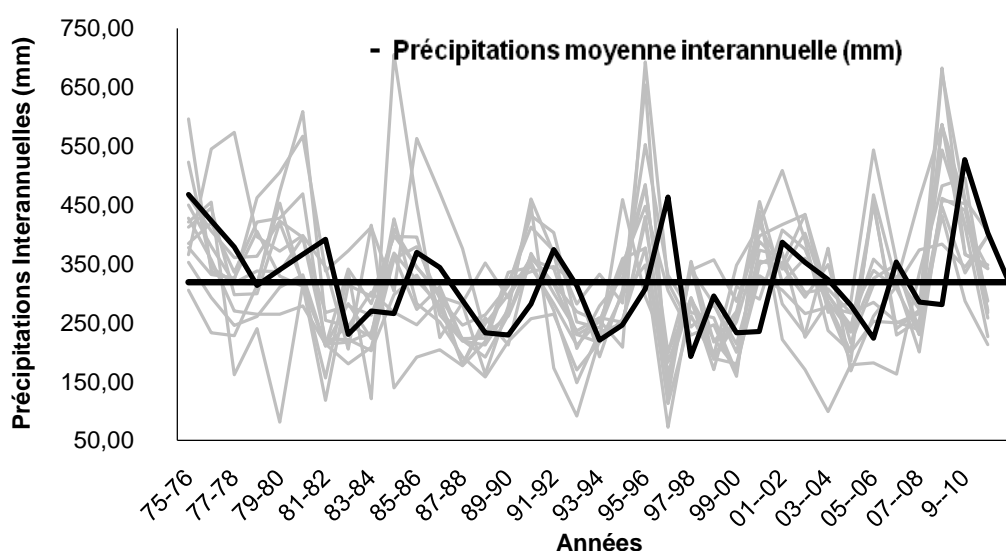


Figure 4 : Variation interannuelle des précipitations



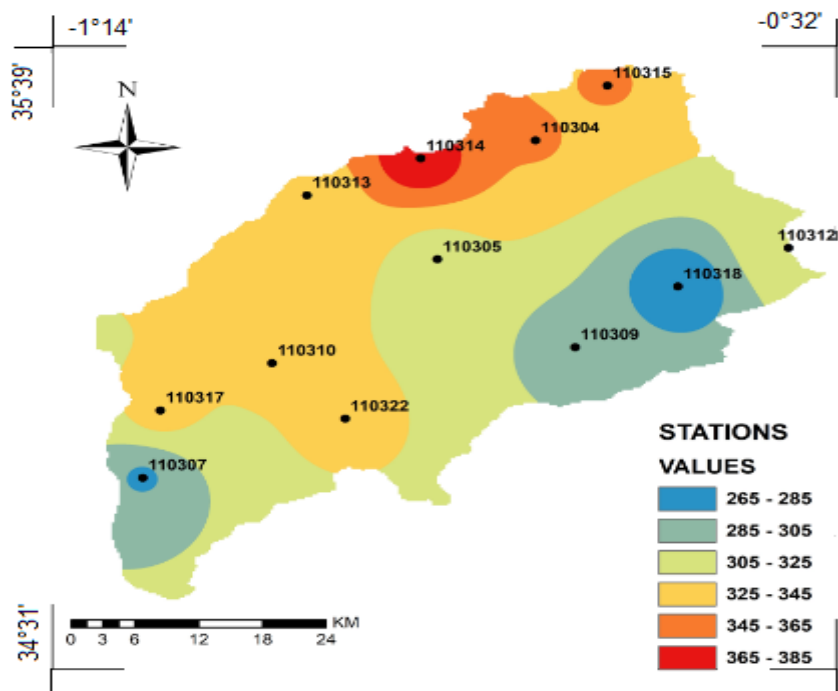


Figure 5. Répartitions des précipitations interannuelles (mm) dans le bassin versant de la Mekerra

Tableau 6. Caractéristiques interannuelles des précipitations

Caractéristiques		Précipitations (mm)
Valeur moyenne		313
Valeur Max par (année)		705 (1984 -1985)
Valeur min par (année)		98
Coefficient de variation		0,34
Coefficient d'asymétrie		0,68
Centiles	5%	238
	25%	305
	75%	476
	95%	598

### III.1.2 Echelle saisonnière

La répartition des précipitations saisonnières représentées par la (figure 7), montre que la saison la plus humide pour l'ensemble du bassin versant est l'hiver avec une moyenne de 123,8mm. La distribution saisonnière des précipitations, fait apparaitre deux saisons orageuses, l'automne et le printemps relevant des quantités pluviométriques comparables environ (31% et 29%). Par contre l'été, représente la saison sèche, pendant laquelle les

précipitations sont assez rares et ne représentent que 2% du total annuel (figure 6). La moyenne saisonnière est de 79,5mm (figure 6).

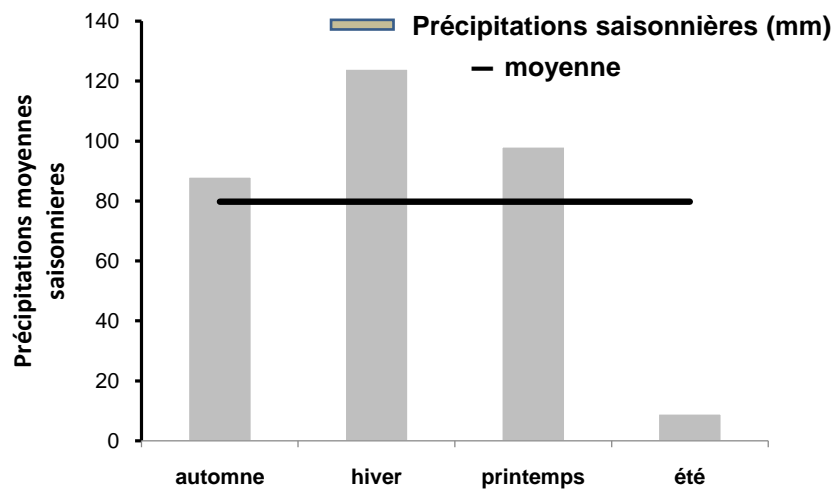
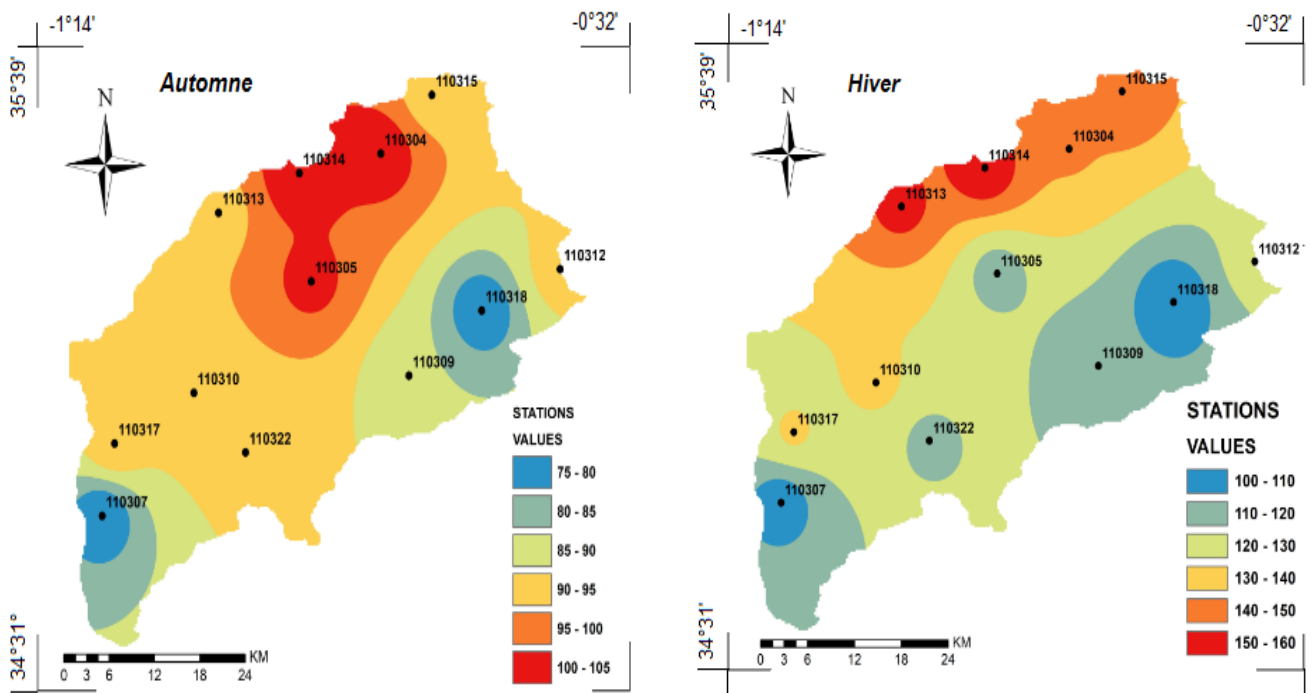


Figure 6 : Variation moyenne saisonnière des précipitations



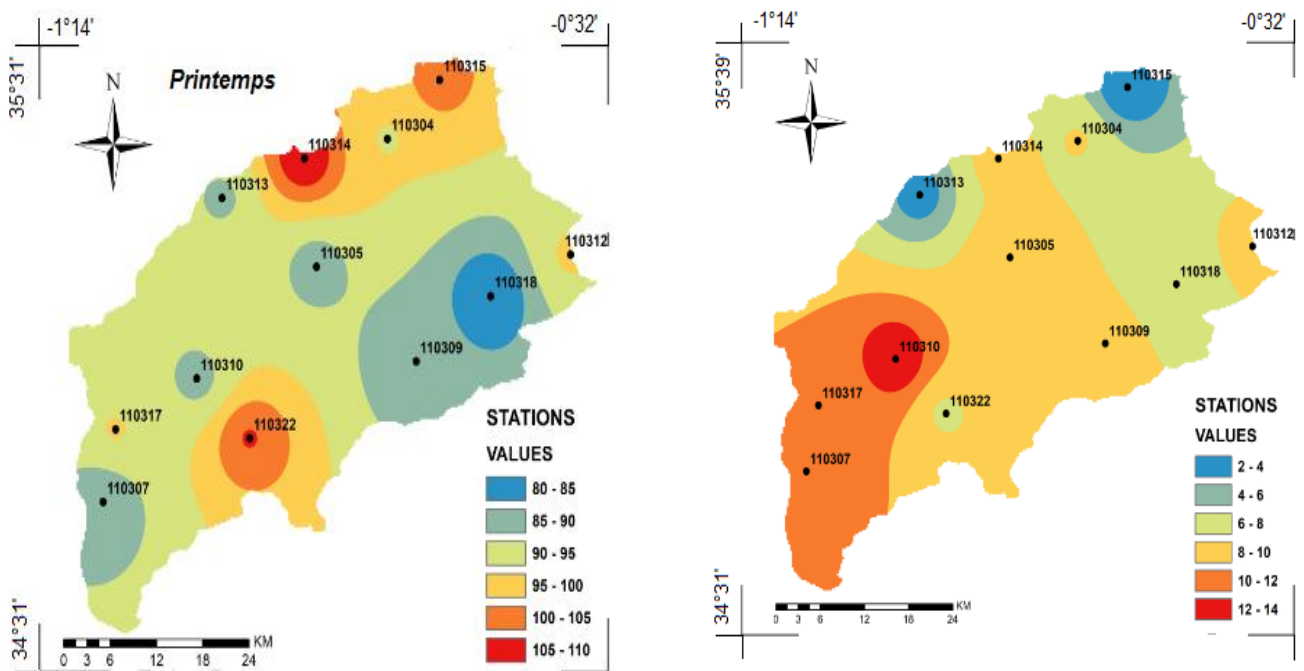


Figure 7. Répartitions des précipitations saisonnières

### III.1.3 Echelle mensuelle

Les précipitations moyennes mensuelles correspondant à la période (1974/2011), sont présentées sur la carte de la répartition spatiale de la pluviométrie du bassin de Makerra (03) (figure 9). L'analyse de cette figure, montre que le mois le plus pluvieux diffère d'une station à l'autre, mais en général, il se situe soit en hiver (Décembre à Février) avec une valeur maximale de 54,64mm atteinte au mois de Janvier, ou au printemps pendant le mois de Mars et Avril. La période la plus sèche correspond à la saison estivale et la valeur minimale (0,05mm) enregistrée est atteinte au mois de Juillet (tableau 7). Les précipitations moyennes mensuelles représentés dans la (figure 8) est une forme en cloche avec une ascension du mois de septembre jusqu'au mois de mars puis une rechute parfaite jusqu'au mois d'août.

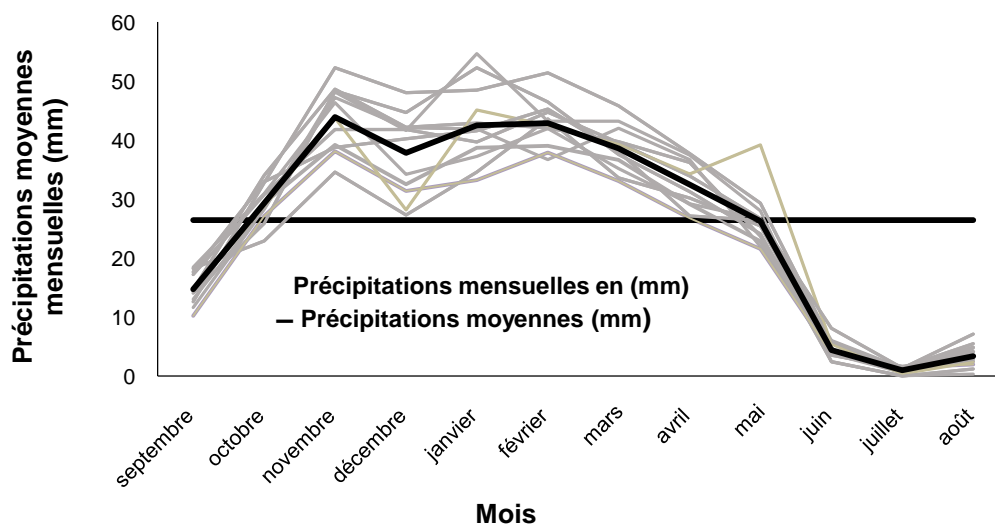
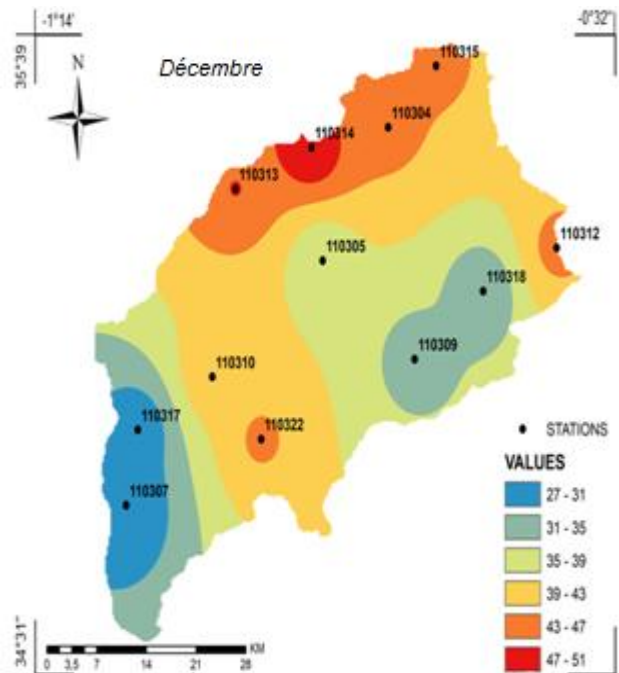
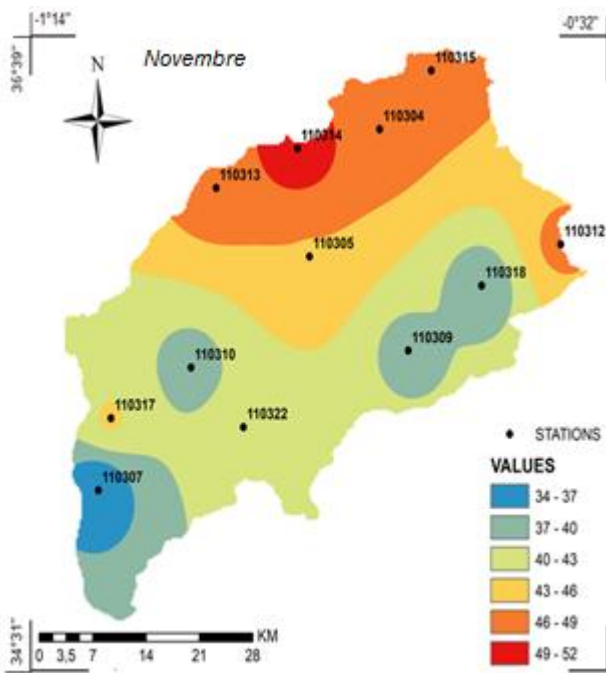
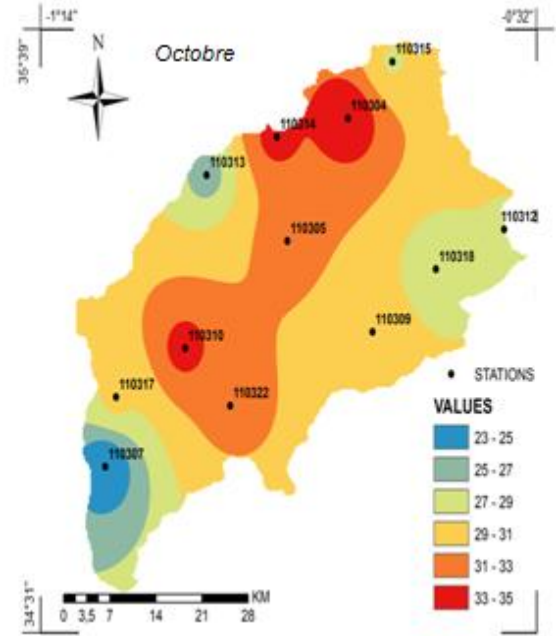
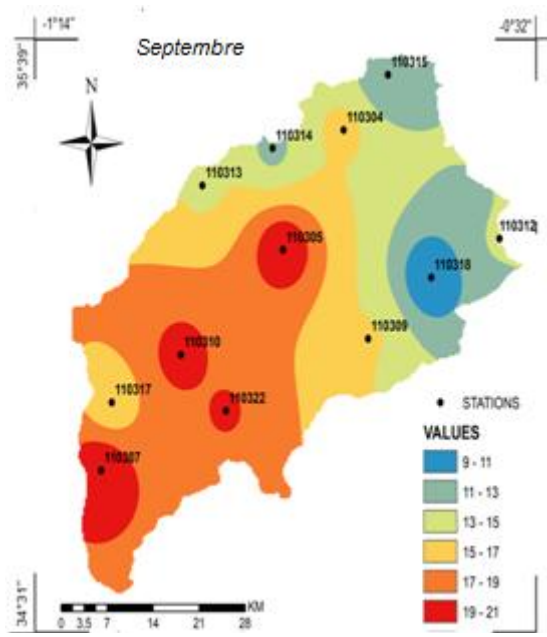
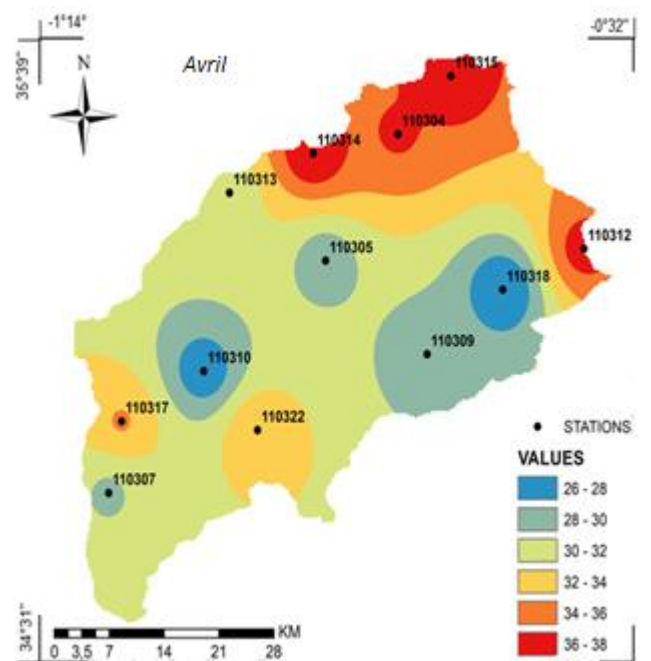
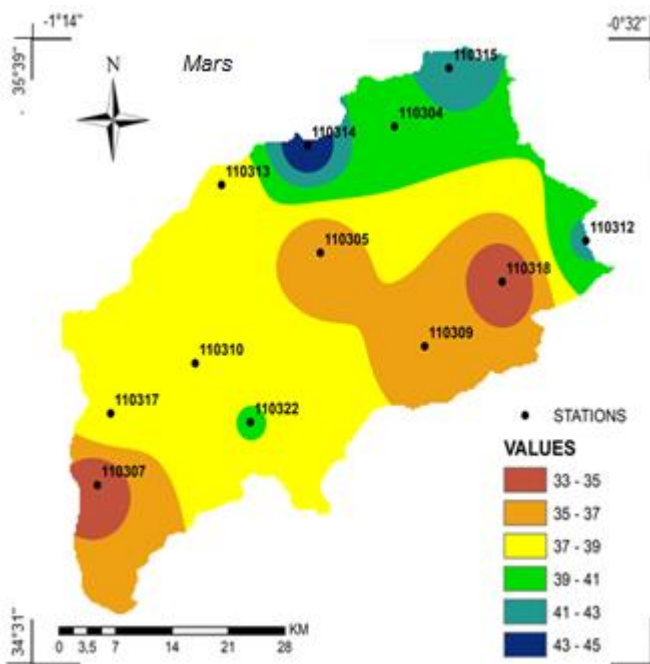
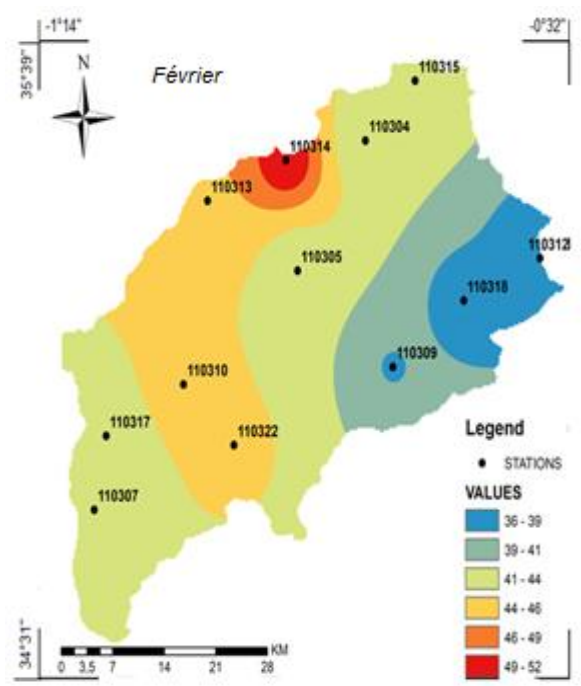
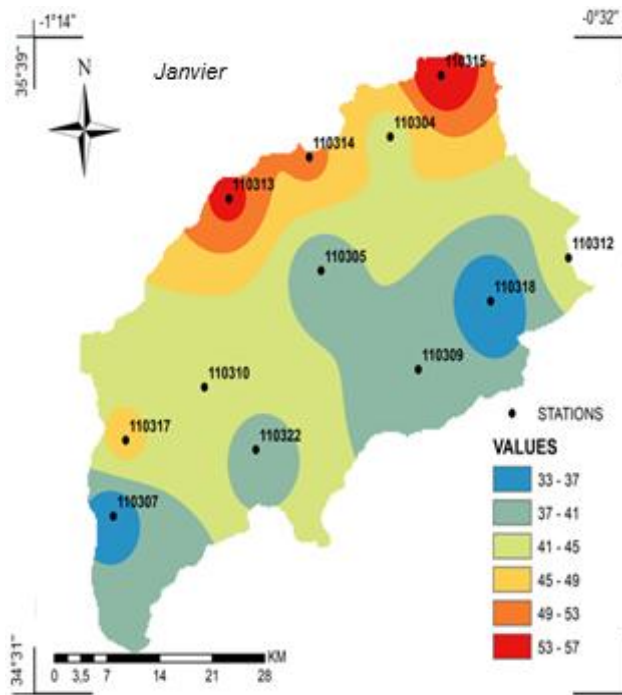


Figure 8 : Variation mensuelle des précipitations

Tableau 7 : Moyennes mensuelles pluviométriques relatives à la période (1974/1975-2010/2011) pour différentes stations du bassin

Code	Sept	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juil	août
110307	18,22	22,88	34,57	27,3	34,57	43,56	33,56	30,14	25,44	3,52	1,32	7,13
110304	14,67	34,02	48,61	42,15	42,85	42,02	39,71	36,18	23,71	4,21	1,63	2,86
110309	14,45	29,29	39,17	32,47	38,66	39,03	36,63	29,11	22,85	3,78	1,35	4,12
110312	13,05	28,34	47,24	42,11	41,9	36,72	42,01	36,71	21,98	3,81	0,64	4,78
110314	12,6	32,81	52,28	48,06	48,47	51,4	45,82	37,76	29,34	5,68	1,1	2,5
110305	18,47	30,95	46,34	34,2	37,23	41,94	35,16	29,17	26,6	6,01	1,35	3,01
110313	14,07	25,86	48,34	44,67	52,24	46,42	37,52	31,24	24,07	2,45	0,02	1,19
110315	11,63	28,28	48,12	41,61	54,64	43,19	43,19	37,45	27,98	2,4	0,05	0,33
110318	10,24	27,12	38,08	31,37	33,18	37,87	33,05	26,74	21,54	3,79	1,5	1,98
110322	17,22	30,78	41,82	41,79	39,68	44,73	39,59	33,9	26,7	3,74	1,41	5,47
110317	14,75	28,81	43,78	28,18	45,11	42,49	39,35	34,25	39,19	5,44	0,42	2,41
110310	17,63	32,94	38,77	40,2	41,58	45,26	38,04	27,17	26,4	8,1	1,38	4,89





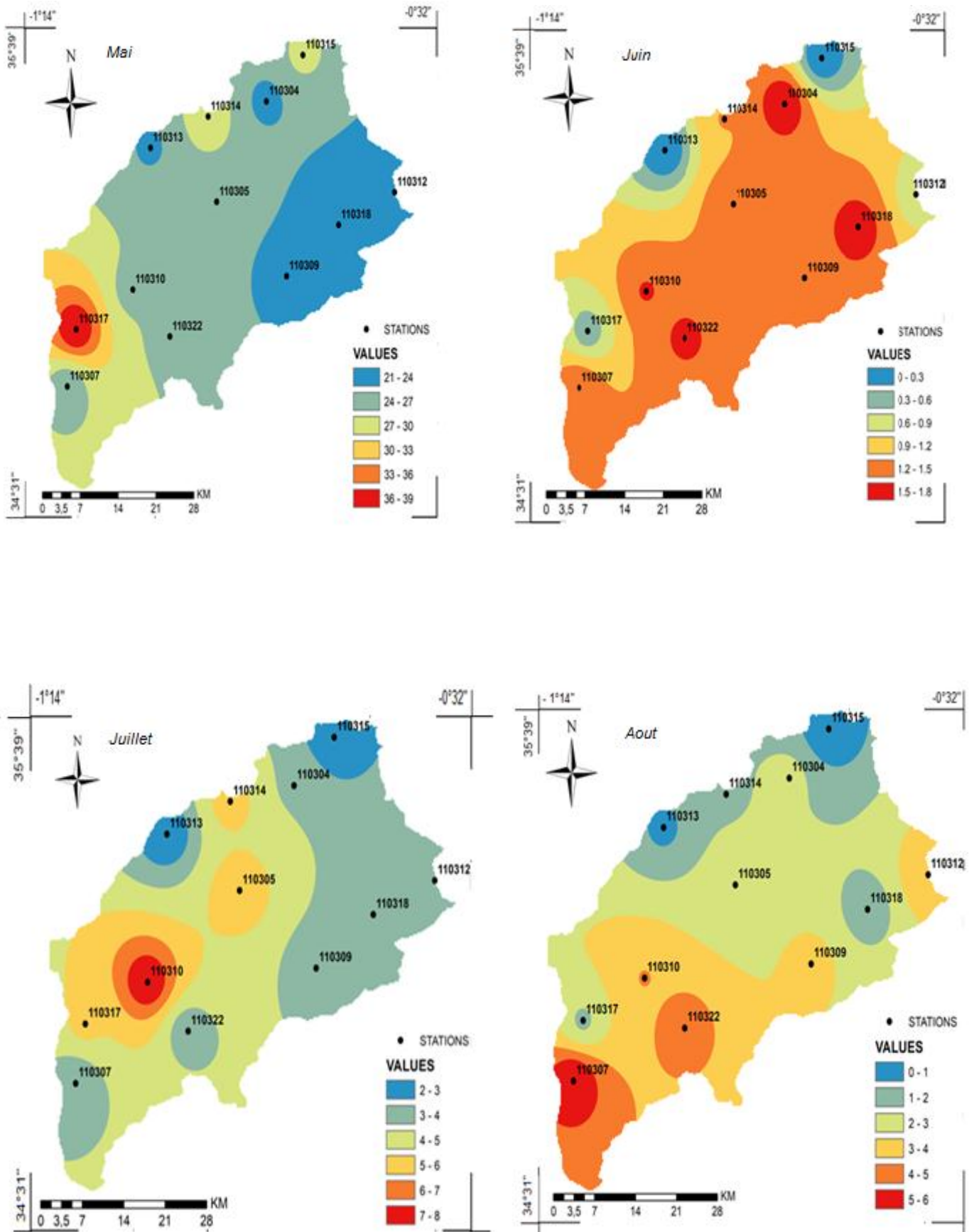


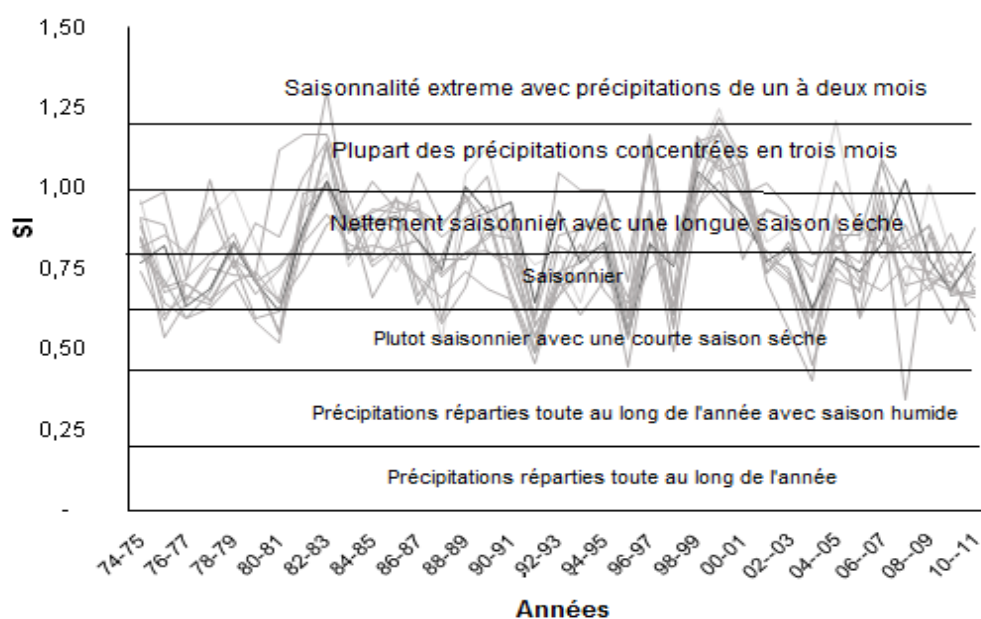
Figure 9. Répartition des précipitations mensuelles

### III.1.4 Indice de saisonnalité (SI)

L'analyse du (tableau 8), montre que quatre stations (Sarno, Ain Trid, Bel Abbès et Lamtar) se caractérisent par un régime saisonnier, avec des valeurs SI comprise entre 0,74 et 0,77. Le reste des stations se caractérisent par un régime nettement saisonnier avec une longue saison sèche (tableau 4).

**Tableau 8 : Variabilité de l'indice de saisonnalité SI**

N°	Stations	Code	SI	Z (m)
1	Ben badis	110307	0,87	732
2	Sarnos bge	110304	0,74	425
3	Hassi daho	110309	0,81	642
4	Mostpha ben brahim	110312	0,84	596
5	Ain trid	110314	0,74	530
6	Bel-Abbès	110305	0,77	470
7	Tessala	110313	0,86	580
8	Ain berd	110315	0,86	492
9	Sidi lahcene	110318	0,82	501
10	Tabia	110322	0,81	617
11	Hassi zahana	110317	0,86	630
12	Lamtar	110310	0,76	552



**Figure 10 : Variation de l'indice de saisonnalité (SI)**

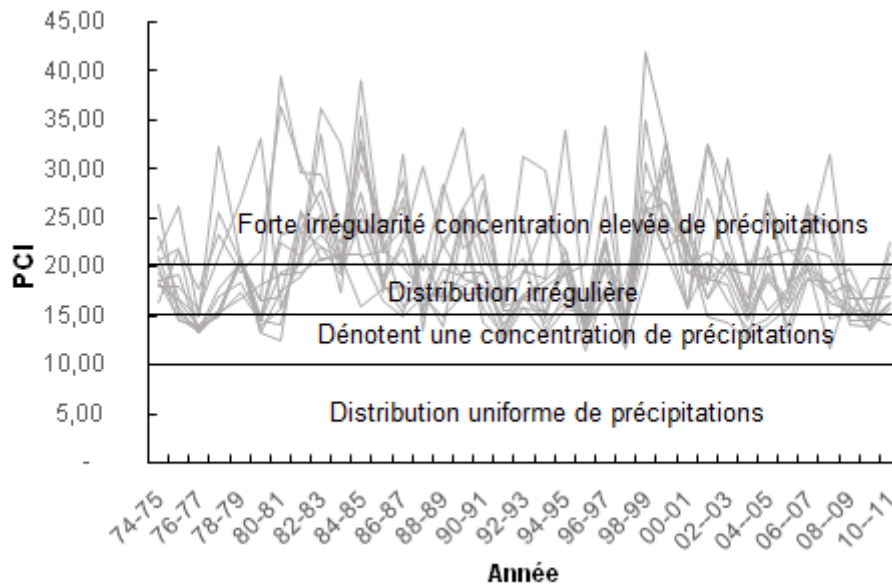


### III.1.5 Indice de concentration des précipitations (PCI).

La concentration des précipitations annuelles (PCI), durant les 37 années d'étude varie en moyenne de 17 à 22. L'analyse du tableau 9 et de la figure 11, montre que le PCI indique un caractère irrégulier à très irrégulier des précipitations. Les stations situées dans le sud et le Sud Ouest du bassin versant au niveau de Hassi Zehana et Tessala possèdent les plus grandes valeurs du PCI, avec respectivement 21,5 et 22,17 ce qui exprime une forte irrégularité dans ces régions. Par contre les autres stations qui sont dispersées dans le bassin montrent des valeurs de PCI comprises entre 17 et 20 ce qui dénote d'une distribution irrégulière.

**Tableau 9 : Variabilité des PCI pour différentes stations du bassin**

<b>N°</b>	<b>Stations</b>	<b>Code</b>	<b>PCI</b>	<b>Z</b>
1	Ben badis	110307	21	732
2	Sarnos bge	110304	17,29	425
3	Hassi daho	110309	20	642
4	Mostpha ben brahim	110312	21	596
5	Ain trid	110314	17	530
6	Bel-Abbes	110305	18	470
7	Tessala	110313	22,17	580
8	Ain berd	110315	21	492
9	Sidi lahcene	110318	20	501
10	Tabia	110322	19,60	617
11	Hassi zahana	110317	21	630
12	Lamtar	110310	18	552



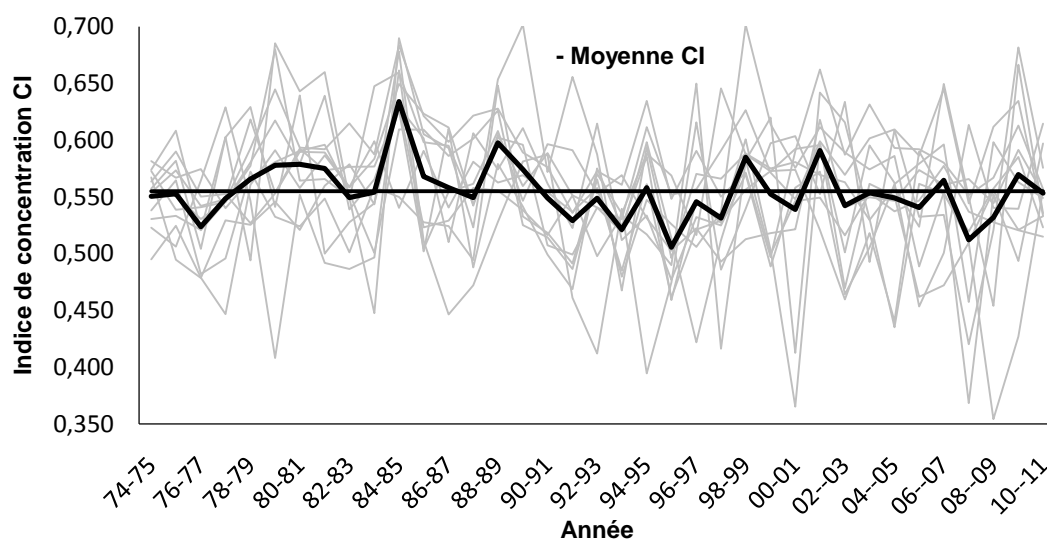
**Figure 11. Variation de l'indice de concentration des précipitations (PCI)**

### III.1.6 Indice de concentration des précipitations journalières (CI).

Les valeurs de CI sur le bassin versant varient entre 0,52 et 0,59 (tableau 10). Par définition, la valeur de CI est toujours un nombre compris entre 0 et 1. Des valeurs de (CI) assez élevées ont été principalement trouvées dans les zones situées au Nord, en l'occurrence la station de Sarno. Alors que le (CI) le plus bas (0,52) est observé à la station de Hassi Zahana. La distribution spatiale des valeurs de CI trouvées dans cette zone d'étude reste relativement faible (figure 12).

**Tableau 10 : Variabilité des CI pour différentes stations du bassin**

Paramètres Stations	A	b	ci	r
Ben badis	0,064	0,027	0,57	0,972
Sarnos bge	0,054	0,029	0,59	0,985
Hassi daho	0,075	0,026	0,56	0,985
Mostpha ben brahim	0,118	0,022	0,54	0,975
Ain trid	0,093	0,024	0,56	0,986
Bel-Abbes	0,061	0,028	0,57	0,986
Tessala	0,090	0,025	0,56	0,983
Ain berd	0,123	0,022	0,54	0,978
Sidi lahcene	0,085	0,025	0,55	0,983
Tabia	0,099	0,025	0,55	0,986
Hassi zahana	0,122	0,024	0,52	0,989



**Figure 12. Variation de l'indice de concentration (CI)**

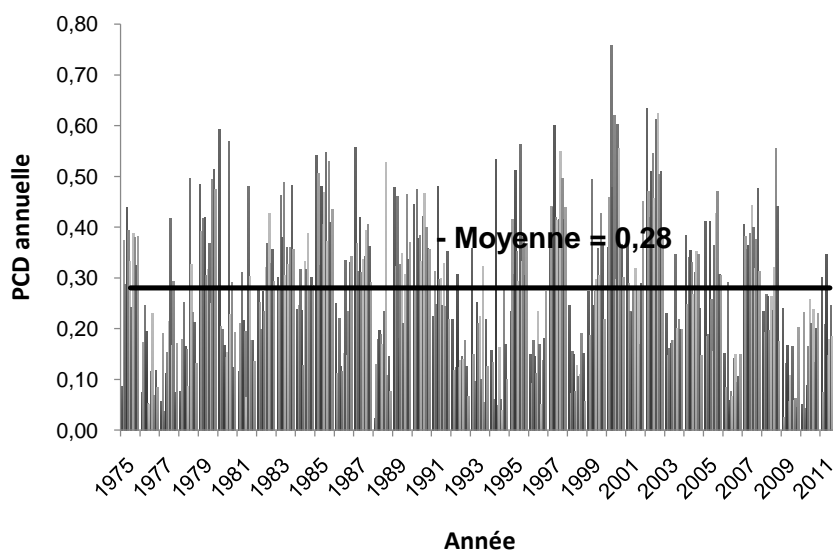
### III.1.7 Degrés et périodes de concentration des précipitations PCD/PCP

Les valeurs annuelles du PCD (Précipitations Concentration Degré) varient de 0,24 à 0,32 avec une moyenne de 0,28 (figure 13). Ceci indique qu'en moyenne, la saison des pluies est très courte. Le PCD le plus important est observé à la station de Tessala (0,32) (tableau 11).

Le calcul des PCP, donne des valeurs plutôt négatives pour la majorité des stations étudiées, exception faite pour la station de Ben Brahim et Tabia où les PCP sont positives. Les pluies se concentrent généralement entre octobre et avril. La fréquence des fortes pluies accompagnées d'inondation se localise au mois de novembre et Janvier de l'année. A partir du mois de Mai les pluies sont généralement faibles.

**Tableau 11 : Variation des PCD/PCP pour différentes stations du bassin**

N°	Stations	Code	PCP	PCD	Z
1	Ben badis	110307	-4,35	0,29	732
2	Sarnos bge	110304	-15,28	0,24	425
3	Hassi daho	110309	-4,37	0,28	642
4	Ben brahim	110312	5,74	0,30	596
5	Ain trid	110314	-10,21	0,25	530
6	Bel-Abbes	110305	-29,58	0,25	470
7	Tessala	110313	-6,76	0,32	580
8	Ain berd	110315	-9,05	0,30	492
9	Sidi lahcene	110318	-11,76	0,29	501
10	Tabia	110322	4,75	0,28	617
11	Hassi zahana	110317	-12,80	0,32	630
12	Lamtar	110310	-11,82	0,25	552



**Figure 13 : Représentation graphique du PCD**

### III.2 TENDANCE DES PRECIPITATIONS PAR LA METHODE DE MANN-KENDALL :

L'analyse des tendances des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Mekerra basé sur le test de Mann-Kendall a donné les résultats suivants :

#### III.2.1. Echelle annuelle :

Les résultats des tendances annuelles des précipitations sont présentés dans le (tableau 12)

**Tableau 12 : Résultats du Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall modifié**

M.K Stations	Précipitations			
	$\tau$ de Kendall	Statistic S	p-value	Tendance
110307	<b>-0,092</b>	<b>-58</b>	<b>0,43</b>	<b>o<sup>-</sup></b>
110304	-0,054	-36	0,64	o <sup>-</sup>
110309	-0,150	-100	0,19	o <sup>-</sup>
110312	-0,129	-86	0,26	o <sup>-</sup>
110314	-0,198	-132	0,08	o <sup>-</sup>
110305	-0,019	-13	0,87	o <sup>-</sup>
110313	-0,051	-34	0,66	o <sup>-</sup>
110315	-0,189	-126	0,10	o <sup>-</sup>
110318	-0,064	-43	0,58	o <sup>-</sup>
110322	-0,066	-44	0,57	o <sup>-</sup>
110317	<b>-0,006</b>	<b>-4</b>	<b>0,96</b>	<b>o<sup>-</sup></b>
110310	<b>0,222</b>	<b>14</b>	<b>0,85</b>	<b>o<sup>++</sup></b>

*Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifiées*

$\tau$  : Tau de Kendall. S : Statistic o<sup>-</sup> : tendance négative non significative ; - : tendance négative significative au seuil  $\alpha = 10\%$

Le test de Man-Kendall est directement appliqué aux séries des pluies annuelles pour la période (1974-2011) afin de détecter la tendance à un niveau de signification de 95%. Cependant, il est toujours délicat et difficile de vouloir dégager des tendances concernant l'évolution des précipitations annuelles. Celles-ci ne peuvent être perçues que sur le relatif court terme. L'application de l'auto-corrélation à l'échelle annuelle sur les stations étudiées, a permis de détecter la nécessité de procéder au test Man-Kendall modifié au niveau de trois stations (Benbadis, Hassi zahana et Lamtar).

Pour les deux premières stations, les valeurs répertoriées en gras sur le tableau 12, montrent une tendance négative non significative. Par contre, à la station de Lamtar, une tendance significativement positive est révélée.

### **III.2.2 Echelle mensuelle :**

Le test de Mann-Kendall et Man-Kendall modifié à l'échelle mensuelle ont été appliqués pour évaluer les tendances statistiquement significatives dans la série chronologique des précipitations mensuelles pour toutes les stations sélectionnées. Les résultats de ces Tests sont présentés dans le (tableau 13).

L'analyse de ce tableau, montre que les tendances à la hausse sont plus nombreuses que celles à la baisse dans les séries des précipitations mensuelles au cours de la période d'étude (1974-2011).

Le test de Man-Kendall modifié sur les quatre stations sont portés sur le (tableau 13). L'analyse de ce tableau, montre que la répartition spatiale des tendances au niveau de ces quatre stations et pour différents mois, indique que les tendances négatives non significatives sont observées au niveau de la station de Sarnos. Par contre les stations de Lamtar, Sidi Lahcene et Ain el Berd ont une tendance significativement positive.

**Tableau 13 : Résultat du Test de Mann-Kendall et Mann-kendall Modifié**

Stations Mois	110307	110304	110309	110312	110314	110305	110313	110315	110318	110322	110317	110310
	<b>TAU DE KENDALL</b>											
<b>Sept</b>	0.210	0.148	0.06	0.053	0.213	0.23	0.221	0.104	0.669	0.149	0.169	0.259
<b>Oct</b>	-0.113	0.015	-0.064	0.028	-0.072	0.123	0.056	0.155	0.142	0.013	-0.066	0.024
<b>Nov</b>	0.580	-0.01	0.045	-0.024	0.720	0.058	-0.019	0.255	0.244	-0.006	-0.054	-0.03
<b>Déc</b>	-0.020	-0.013	0.067	0.064	-0.003	0.025	0.099	<b>0,117</b>	1.239	0.055	0.063	0.099
<b>Jan</b>	0.617	-0.016	0.082	0.029	0.057	0.07	0.042	0.120	<b>0,117</b>	0.058	0.076	0.024
<b>Fév</b>	0.564	<b>-0.111</b>	-0.10	-0.19	-0.215	-0.123	-0.147	<b>0,092</b>	-0.086	-0.037	-0.105	-0.027
<b>Mars</b>	-0.090	-0.15	-0.192	-0.206	-0.215	-0.121	-0.046	0.046	-0.181	-0.111	-0.159	-0.187
<b>Avril</b>	-0.142	-0.04	-0.129	-0.019	-0.093	-0.027	0.042	0.162	-0.046	0.012	-0.058	<b>0.022</b>
<b>Mai</b>	-0.133	-0.012	-0.131	0.009	-0.063	-0.061	0.044	0.021	-0.039	-0.045	-0.087	-0.066
<b>Juin</b>	-0.147	0.042	-0.107	0.085	-0.29	0.109	-0.013	-0.131	-0.030	-0.239	0.106	0.137
<b>Juill</b>	-0.135	-0.04	0.012	-0.022	-0.372	-0.112	-0.025	-0.281	0.328	-0.124	-0.237	0.002
<b>Aout</b>	0.220	-0.17	0.011	0.137	-0.153	0.145	-0.095	<b>0.057</b>	-0.082	-0.003	0.104	0.096

*Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifié*

### III.2.3 Echelle saisonnière :

Dans le tableau 14, nous avons représenté les Tau de Kendall pour les précipitations saisonnières.

**Tableau 14 : Test de Mann-Kendall et Mann-Kendall Modifié pour les précipitations saisonnières**

Stations	110307	110304	110309	110312	110314	110305	110313	110315	110318	110322	110317	110310
Saisons	<b>TAU DE MAN-KENDALL</b>											
Automne	0.042	0.018	-0.05	-0.021	0.06	0.073	0.054	0.198	0.243	-0.018	-0.010	0.060
Hiver	-0.01	-0.06	-0.006	-0.042	-0.10	-0.075	-0.024	0.111	0.81	-0.013	-0.057	-0.024
Printemps	<b>-0.015</b>	-0.07	-0.191	-0.12	-0.186	-0.12	-0.042	0.109	-0.147	-0.069	-0.138	<b>-0,019</b>
Eté	-0.019	-0.018	-0.11	0.223	-0.25	0.125	-0.102	-0.251	-0.173	-0.079	0.047	0.188

*Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifié*

A l'échelle saisonnière, la tendance à la baisse est significative à 95%. On remarque que les précipitations sont en hausse pendant la saison d'automne et à la baisse pendant la saison pluvieuse (hiver et printemps).

### III.3 TEST DE MAN-KENDALL POUR L'INDICE DE SAISONNALITE (SI)

Les résultats de Test sur l'indice de saisonnalité SI, sont présentés dans le (tableau 15)

**Tableau 15 : Test de Man-Kendall pour (SI).**

Code station	Kendall's tau	Statistic S	p-value	Trend
110307	0,44	5,98	0,78	o+++
110304	0,45	5,43	0,80	o+++
110309	0,14	94	0,22	o+
110312	0,15	2	0,98	o+
110314	0,12	80	0,30	o+
110305	-0,18	-120	0,11	o <sup>-</sup>
110313	-0,06	-46	0,55	o <sup>-</sup>
110315	-0,16	-108	0,16	o <sup>-</sup>
110318	0,24	3,26	0,88	o++
110322	-0,01	-10	0,90	o <sup>-</sup>
110317	-0,03	-22	0,78	o <sup>-</sup>
110310	-0,03	-22	0,78	o <sup>-</sup>



La tendance a été analysée par le test de Mann-Kendall (MK) (tableau 15). Les résultats montrent que certaines stations montrent des tendances positives, tandis que d'autres des tendances négatives. Parmi les 12 stations analysées, on constate qu'uniquement 6 stations qui présentent des tendances significatives au seuil de 95%.

### III.4 TEST DE MAN-KENDALL POUR PCI

Le tableau 16 représente les résultats du Test de Mann-Kendall pour l'indice de concentration des précipitations (PCI)

**Tableau 16 : Résultat du Test de Mann-Kendall (PCI)**

Code station	Kendall's tau	Statistic S	p-value	Trend
110307	-0,093	-62	0,425	o-
110304	-0,033	-22	0,783	o-
110309	0,036	24	0,763	o+
110312	-0,066	-44	0,573	o-
110314	-0,054	-36	0,647	o-
110305	-0,198	-132	0,086	o <sup>-</sup>
110313	-0,087	-58	0,456	o <sup>-</sup>
110315	-0,219	-146	0,057	o <sup>-</sup>
110318	0,024	16	0,844	o+
110322	-0,033	-22	0,783	o <sup>-</sup>
110317	-0,090	-60	0,44	o <sup>-</sup>
110310	-0,096	-64	0,41	o <sup>-</sup>

L'analyse du test de MAN-KENDALL pour l'indice de concentration des précipitations (PCI) (tableau 16), indique une tendance négative non significative, un régime de précipitations plus stable et une saisonnalité dans la plupart des stations étudiées. Exception faite pour deux stations qui ont montré une tendance positive significative au cours de la période d'étude.

### III.5 TEST DE MAN-KENDALL POUR CI.

Tableau 17 : Test de Man-Kendall et Man-Kendall modifié pour (CI)

Code station	Kendall's tau	Statistic S	p-value	Trend
110307	-0,14	-94	0,22	o-
110304	-0,11	-74	0,33	o-
110309	0,03	26	0,74	o+
110312	-0,07	-52	0,50	o-
<b>110314</b>	<b>0,009</b>	<b>6</b>	<b>0,94</b>	<b>o<sup>+</sup></b>
110305	-0,20	-134	0,08	o <sup>-</sup>
110313	-0,09	-64	0,41	o <sup>-</sup>
110315	-0,18	-126	0,10	o <sup>-</sup>
110318	0,03	24	0,76	o+
110322	0,02	16	0,84	o+
110317	-0,08	-54	0,48	o <sup>-</sup>
110310	-0,10	-70	0,36	o <sup>-</sup>

*Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifié*

Dans ce travail, le test non paramétrique de MANN-KENDALL est utilisé pour détecter les tendances des valeurs annuelles de l'indice de concentration des précipitations journalières (CI) enregistrées sur le bassin versant de la Mekerra (tableau 17). Les séries journalières de 12 stations météorologiques réparties de façon relativement régulière sur le bassin de la Mekerra durant une période de 37 ans (1974-2011) ont été analysées.

### III.6 TEST DE MAN-KENDALL POUR PCP

Tableau 18 : Test de Man-Kandall pour PCP

Code station	Kendall's tau	Statistic S	p-value	Trend
110307	0,114	76	0,32	o+
110304	0,85	11,41	0,59	o+
110309	1,23	16,55	0,44	o++
110312	0,24	162	0,33	o+
110314	0,22	150	0,05	o+
110305	1,21	16,2	0,44	o++
110313	0,10	70	0,36	o+
110315	0,97	13	0,53	o+
110318	0,55	7,63	0,72	o+
110322	0,94	13,07	0,53	o+
110317	0,11	74	0,33	o+
110310	0,28	3,83	0,86	o+

Le tau de Man Kendall obtenus (tableau 18), affiche clairement des tendances positives pour la totalité des stations étudiées. Étant donné qu'aucune tendance significative négative n'a été observée dans la majorité des stations étudiées. On peut dire qu'aucun changement n'est survenu dans le régime de précipitations.

### III.7 TEST DE MAN-KENDALL POUR PCD

**Tableau 19 : Test de Man-Kendall et Man-Kendall modifié pour PCD**

Code station	Kendall's tau	Statistic S	p-value	Trend
110307	-0,062	64	0,41	o-
<b>110304</b>	<b>-0,120</b>	<b>-76</b>	<b>0,30</b>	<b>o-</b>
110309	-0,052	-38	0,62	o-
110312	0,014	8	0,92	o-
110314	-0,018	-12	0,88	o-
110305	-0,015	-10	0,90	o-
110313	-0,165	-110	0,15	o-
110315	-0,060	-40	0,61	o-
110318	-0,040	-32	0,68	o-
110322	0,057	38	0,62	o+
110317	0,060	40	0,61	o+
110310	0,006	-4	0,96	o+

*Les valeurs en gras représentent les valeurs de Mann-Kendall modifié*

Le Tau de Mann-Kendall pour le PCD, montre un changement significatif au niveau de huit stations qui affichent des tendances négatives. Pour le reste des stations aucun changement n'a été observé.

## Chapitre IV

### Discussions des résultats et conclusion générale

Dans ce travail on s'est intéressé à l'étude des précipitations annuelles, mensuelles et saisonnières et à l'étude des analyses des tendances et la détection des modifications temporelles dans les séries hydrométéorologiques dans le bassin versant de la Mekerra.

On a abordé dans ce travail les procédures les plus répandues dans la littérature et les plus significatives quant à l'objectif de ce mémoire. Un autre problème concerne les données puisque l'on a disposé juste de séries de précipitations (dont certaines au pas mensuel). La disponibilité d'autres paramètres climatiques tels que les températures, l'évaporation et les caractéristiques des sols aurait permis d'arriver à des résultats plus descriptifs du phénomène.

L'analyse des paramètres hydrographique du bassin versant de l'oued Mekerra présenté dans le (tableau 2), montre que :

- la valeur du coefficient de torrencialité  $C_t$  est relativement faible (0,007). Ceci est dû essentiellement à la faiblesse des précipitations, où encore à la forte perméabilité des structures lithologiques.
- Le temps de concentration s'avère assez important (11,5h), en raison de la forme et du relief qui caractérise le bassin.
- La valeur de densité de drainage (0,21 Km/Km<sup>2</sup>) et la fréquence des cours d'eau (0,047) indiquent que le bassin versant est assez bien drainé.

L'importance du drainage est due principalement à la nature des formations qui forment le bassin, ainsi qu'aux pentes assez fortes des versants d'une part et d'autre part au régime climatique, caractérisé par des pluies irrégulières et violentes. Le rapport de confluence de (8,05), indique que le réseau hydrographique est bien organisé. On considère alors, que le réseau hydrographique, de notre bassin témoignent d'un chevelu hydrographique bien hiérarchisé moyennement dense, mais assez ramifié.

Les enregistrements de précipitations de 1974 à 2011, ont été utilisés pour analyser la variabilité temporelle de la saisonnalité et des régimes des précipitations dans le bassin. Sur les 12 stations retenues dans cette étude, les résultats suggèrent un accord fort entre tous les couples d'indices de saisonnalité des précipitations calculés avec des séries chronologiques de précipitations mensuelles à un niveau de confiance de 95%

Les stations situées dans ce bassin ont des valeurs SI comprises entre 0,74 et 0,77, ce qui implique un régime saisonnier. Les stations situées dans le nord, dans le nord-ouest et quelques stations du sud se caractérisent par un régime de précipitations saisonnières. La plupart des stations distribuées dans les régions montagneuses et à haute altitude sont spécifiés par des valeurs SI comprises entre 0,8 et 0,87, suggérant que ces zones ont une saisonnalité marquée par un régime avec une longue saison sèche. Le régime des précipitations sur la totalité du bassin versant est caractérisé par un régime nettement saisonnier avec une longue saison sèche.

Le modèle spatial des valeurs PCI moyennes par rapport à 1974-2011 est représenté dans le (tableau 9). Considérant la classification PCI définie par Oliver (1980), le bassin de la Mekerra est partitionné en deux sous-régions caractérisées par des précipitations avec différents régimes.

- **(PCI = 16–20)**, sont détectées dans le nord du bassin et à haute altitude du sud et du sud ouest. Ils sont répartis sur le long du bassin, où les précipitations sont relativement équitablement réparties tout au long de l'année ce qui implique que ces stations sont présentées avec une saisonnalité, possédant donc une longue saison sèche de 6 mois.
  
- **(PCI > 20)**, caractérisent les stations situées dans les régions montagneuses de l'ouest, du nord et du nord-ouest, entre autres la station de Tessala, Ain Trid et Sarnos, indiquant que les précipitations totales annuelles sont très concentrées durant la courte saison des pluies, qui ne peut excéder 4 mois.

La distribution spatiale des valeurs de CI sur le bassin est représentée dans le (tableau 10) Les valeurs CI sur le bassin varient entre 0,52 et 0,59 ; néanmoins les valeurs CI comprises entre 0,54 et 0,57 ont les fréquences les plus élevées et attribuées à une majorité de stations réparties sur la plupart des régions du bassin.

Les résultats de l'analyse des tendances des variables climatiques durant la période 1974 à 2011 par le test de Mann-Kendall, pour évaluer les tendances statistiquement significatives ( $p < 0,05$ ) dans la série chronologique des précipitations annuelles, mensuelles et saisonnières pour toutes les stations sélectionnées. Montrent que pour les pluies annuelles, toutes les stations ont une tendance négative non significative. Les taux de Kendall suggèrent respectivement les tendances négatives ou positives. En d'autres termes,

pour toutes les stations étudiées ; il y'a pas de changement observé, c'est-à-dire que les tendances négatives sont non statistiquement significatives (tableau 11). L'application de l'auto-corrélation à l'échelle annuelle sur les stations étudiées, a permis de détecter la nécessité de procéder au test Man-Kendall modifié au niveau de trois stations.

Les tendances concernant les pluies mensuelle des différentes stations, montre une forte progression des précipitations durant le mois de septembre et Novembre. Puisque pas moins de cinq stations ont enregistré des hausses de précipitations durant ces mois. Le Tau de Kendall le plus élevé a été enregistré au mois de Décembre. Les tendances durant le mois de Mars sont plutôt négatives. Les mois de Juillet et Aout n'enregistrent pas une pluviométrie conséquente, malgré des Tau positive, probablement du à des orages de la période estivale. L'application de l'auto-corrélation à l'échelle mensuelle sur les stations étudiées, a permis de détecter la nécessité de procéder au test Man-Kendall modifié au niveau de quatre stations pour différents mois.

Au regard des valeurs consignées dans le (tableau 14), on remarque un changement de comportement des pluies dans le bassin versant. Les précipitations ont tendance à se déplacer de la saison pluvieuse vers la saison estivale. L'application de l'auto-corrélation à l'échelle saisonnières sur les stations étudiées, a permis de détecter la nécessité de procéder au test Man-Kendall modifié au niveau de ces deux stations pour différentes saisons. Les résultats du test de Man-Kendall modifié appliqué pour les stations de Lamtar et Benbadis nécessitant une auto-corrélation sont présentés dans le (tableau 14). Les résultats de ce test affichent des Tau de Mann-Kendall négatifs. La répartition spatiale des tendances au niveau de ces deux stations pour la saison de printemps sont significativement négatives.

Concernant le test non paramétrique de Mann-Kendall pour les CI, les résultats de ce test révèlent l'existence d'aucun changement significatif de l'indice CI annuel des précipitations journalières pour la totalité de la période d'étude. L'auto-corrélation à l'échelle journalière sur les stations étudiées a permis de détecter la nécessité de procéder au test Mann-Kendall modifié. On remarque que sur les douze stations étudiées, une seule station en l'occurrence la station de Ain-Trid, qui présente un tau de Mann-Kendall positive, la même tendance se manifeste au niveau de cette station avec une évolution significativement positive.

Les résultats PCD/PCP indiquent clairement un changement dans les tendances. Puisque pas moins de huit stations ont subi un changement significatif avec des tendances plutôt négatives. Ceci peut se produire à cause de l'irrégularité des précipitations et du caractère très court de la saison des pluies.

En conclusion, on estime que l'analyse des tendances est l'un des outils couramment utilisés pour détecter les changements dans les séries chronologiques climatiques et hydrologiques. Il existe un certain nombre de tests statistiques pour évaluer la signification des tendances dans les séries chronologiques. Les précipitations représentent un paramètre très important sur les réseaux hydrographiques d'un bassin. Les résultats obtenus dans ce travail, peuvent servir comme un support de base pour les gestionnaires de l'eau au niveau des bassins versants.

## Références Bibliographiques

**Balling ET, Neubuser, K, Kratochwil . K (1990):** Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet Rapid Prototyping Journal 10(2) : 78: 87

**Briquet J.P, Bamba F, Mahé G, Toure M, Olivery J.C (1997) :** Variabilité des ressources en eau de l'Afrique Atlantique. PHI-V, 6 : 83-95.

**Coscarelli R, Caloiero T (2012) :** Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region).JHydrol416–417: 145–146.

**C.S. (2011) :** Long-term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11(12): 3235-3250.

**Gautam (2016) :** Article Fast charge separation in a no fullerene organic solar cell with a small driving force.

**GHENIM A.N. et A. MEGNOUNIF (2013) :** Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien. *Sécheresse*, 24, 107-114.

**GHENIM A.N., A. MEGNOUNIF, A. SEDDINI et A. TERFOUS (2010) :** Fluctuations hydro-pluviométriques du bassin-versant de l'Oued Tafna à Beni Bahdel (Nord- Ouest algérien). *Sécheresse*, 21, 115-120.

**Hubert P, Carbonnel JP, Chaouche A. (1989) :** Segmentation des séries hydrométéorologiques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest, *Journal of Hydrology*, 110, 349-367.

**IPCC (2001) :** Summary for policymakers: A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.). Cambridge University Press.

**Kendall M.G. (1975) :** Rank Correlation Measures. 4th ed. London, U.K. Charles Griffin.

**Kendall S.M. et Stuart A. (1943):** The Advanced Theory of Statistics. Vol. 1 & 2.London: Charles Griffin.

**Li X, Jiang F, Li L, Wang G (2011) :** Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang. China. *Int J Climatol* 31:1679–1693. <https://doi.org/10.1002/joc.2181>

**Mahé G, Olivry JC. (1995) :** Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse*, 6, 1 : 109-117.



- Meddi H. et Meddi M. (2009)** : Variabilité des précipitations annuelles du Nord-Ouest de l'Algérie. *Science et Changements Planétaires/Sécheresse*, 20(1): 57-65.
- Modarres R. & Sarhadi A. (2009)** : Rainfall trends analysis of Iran in the last half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 114(D3101): 1-9.
- Martin-Vide J (2004)** : Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in Peninsular Spain. *Int J Climatol* 24:959–971
- Michiels P, Gabriels D, Hartmann R (1992)** : Using the seasonal and temporal precipitation concentration index for characterizing monthly rainfall distribution in Spain. *Catena* 19:43–58
- Oliver JE (1980)** : Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Prof Geogr* 32:300–309
- Philandras C.M., Nastos P.T., Kapsomenakis J., Douvis K.C., Tselioudis G. & Zerefos**
- Piervitali, E et Colacino, M (2003)** : precipitation scenarios in the Centralwestern Mediterranean Basin (*Mediterranean Climate. Variability and trends H.J ; Bolled springer*, pp 245-258.
- Servat E, Paturel JE, Lubès-Niel, H, Kouamé B, Masson JM, Travaglio M, Marieu, (1999)** : De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non Sahélienne. *Rev. Sci . Eau*, 12, 2 : 363-387.
- Sen PK (1968)** : Estimates of the regression coefficients based on Kendall,s tau. *J Am Stat Assoc* 63:1379–1389
- Sabzevari A.A., Zarenistanak M., Tabari H., Moghimi S. (2015)**: Evaluation of precipitation and river discharge variations over southwestern Iran during recent decades, *J. Earth Syst. Sci*, 124, 335–352
- Tramblay Y., El Adloun, S. et Servat E. (2013)** : Trends and variability in extreme precipitation indices over Maghreb countries. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13: 3235-48.
- Türkeş M., Koç T. et Sariş F. (2008)** : Spatiotemporal variability of precipitation total series over Turkey. *International Journal of Climatology*, 29: 1056-74.
- Taibi S., Meddi M., Mahé G, Assani A. (2015)** : Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM generated rainfall. *Theoretical and Applied Climatology*, 127(1-2): 241-57.

**Vannikov. K, Groisman and K.M Lugina, (1990)** : Empirical Data on Contemporary Global Climate Changes (Temperature and Precipitation ) Journal of Climate 3(6) : 662-677

**Wang W, Xing W, Yang T, Shao Q, Peng S, Yu Z, Yong B (2013)** : Characterizing the changing behaviours of precipitation concentration in the Yangtze River basin, China. Hydrol Process 27:3375– 3393

**Yeşilirmak E, Atatanır L (2015)** : Spatiotemporal variability of precipitation concentration in western Turkey. Nat Hazards. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2102-2>

**Yles, F : (2014)** : Hydrologie-Modélisation pluie-débit et transport solide dans les zones steppiques Algériennes : cas du bassin versant de l'oued Saida, Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, p 140.

**Zhai, Y, Sun, A Michel (2003)** : Synaptotjanin Is Recruited by Endophilin to Promote Synaptic Vesicle Uncoating August 2003 Neuron 39(2) : 217-225.

**Zhang LJ, Qian YF (2003)** : Annual distribution features of precipitation in China and their interannual variations. Acta Meteorol Sin 17:146– 163 Walsh RPD, Lawler DM (1981) Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. Weather 36:201– 208. <https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x>