

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE  
N° :.....



DOMAINE : TECHNOLOGIE  
FILIERE :HYDRAULIQUE  
OPTION : OUVRAGES HYDRAULIQUES

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par: Toumiat Asma**

Ouadah Dalal

**Intitulé**

**Analyse et cartographie de la variabilité  
spatio-temporelle des précipitations dans le  
Bassin versant de l'Oued Soummam**

**Soutenu devant le jury composé de:**

DJERBOUAI Salim	Université de M'sila	Examineur
HASBAIA Mahmoud	Université de M'sila	Examineur
MOKHTARI Elhadj	Université de M'sila	Encadreur
ABDELKEBIR Brahim	Université de Guelma	Co-Encadreur

**Année universitaire : 2020 /2021**

# Remerciement

A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'étude nous tient particulièrement a remercié **ALLAH** de nous avoir accordé la foi, le courage, la volonté de continuer nos études, et d'effectuer ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements tout d'abord à notre promoteur Monsieur **MOKHTARI EIHADJ**, pour avoir accepté de nous encadrer en ce sujet. Ainsi pour leur orientation, leurs judicieux conseils et leur disponibilité durant toute la période de notre travail.

Nous remerciié notre Co-promoteur monsieur **ABDELKEBIR BRAHIM** pour leur information et leur conseils.

J'adresse tous mes respects et mes remerciements à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour l'élaboration de cette Étude et particulièrement à

A tous les enseignants de l'**Hydraulique** qui ont contribué à ma formation.

Aux membres de jury qui ont bien voulue examiner mon travail.

Sans oublier de remercier tous nos amis et nos collègues de promotion **Hydraulique**.

**Merci**

**Toumiat Asma**

**Ouadah Dalal**

The background features three black graduation caps (mortarboards) at the top, arranged in a slight arc. Below them, several rolled-up scrolls are tied with ribbons in various colors (red, yellow, pink). The scrolls are scattered around the page, some pointing towards the center. The entire scene is set against a light, textured background that resembles a white fabric or paper with a subtle pattern. The overall theme is graduation and achievement.

# *Dédicace*

*Avec l'aide de dieu tout puissant on a pu achever se  
modeste travail que je dédie.*

*Ma chère maman, pour son amour, encouragement,  
conseil et soutien moral.*

*Mon cher père pour ses encouragements, son soutien  
moral et matériel.*

*A mes frères Abdelghani, Abderaouff et Abdassamad.*

*A mon fiancé kaisse Toumiat*

*A toute ma famille Toumiat*

*Mes collègues et mes amies : Dalal, Maryam.*

*A toutes les meilleures personnes qui m'aiment et qui  
m'aident dans ma vie.*

*A tous mes amis de l'Hydraulique et tous ceux qui  
ont contribué de près ou de loin à ma formation.*

*Toumiat Asma*

The background features three black graduation caps at the top, arranged in a slight arc. Below them, several yellow scrolls with red ribbons are scattered, some pointing upwards and others downwards. The entire scene is framed by a decorative border of light blue and white flowers. The text is centered within this frame.

# *Dédicace*

*Avec l'aide de dieu tout puissant on a pu achever se  
modeste travail que je dédie.*

*Ma chère maman, pour son amour, encouragement,  
conseil et soutien moral.*

*Mon cher père pour ses encouragements, son soutien  
moral et matériel.*

*A mes frères et mes soeurs*

*A mon amour Omar*

*A toute ma famille Ouadah*

*Mes collègues et mes amies :Asma, Maryam.*

*A toutes les meilleures personnes qui m'aiment et qui  
m'aident dans ma vie.*

*A tous mes amis de l'Hydraulique et tous ceux qui  
ont contribué de près ou de loin à ma formation.*

*Ouadah Dalal*

## ملخص:

يعتبر الماء إلى حد بعيد العنصر الأكثر وفرة على كوكبنا والمادة الأساسية للكائنات الحية ، الدراسة الخاصة بعمليات هطول المطار في المناطق القاحلة تثبت أن العامل من الدرجة الأولى المحدد لها هو الماء، وبالتالي المعرفة الجيدة لتوزيع الأمطار زمانيا ومكانيا، أمر ضروري لتحديد الفترات الحرجة من الجفاف التي تتعرض لها المحاصيل الزراعية ومعرفة المناطق الأخرى المناسبة لها وغير المناسبة لها.

تتم دراسة التباين المكاني والزمني للأمطار في حوض الصومام على مدار 34 عاما (1972-2003) يعتمد على محطة سقوط مياه تغطي معظم مناطق دراستنا.

الهدف من هذا العمل هو تحديد التباين المكاني لهطول الأمطار على النطاق الموسمي والسنوي باستخدام البيانات المرجعية (مؤشر هطول الأمطار القياسي، اختبار التجانس وهطول الأمطار المتراكمة).

أشارت هذه الدراسة إلى وجود تقطعات، تتجلى من خلال التقلبات في أنماط هطول الأمطار.

**الكلمات المفتاحية:** هطول الأمطار ،حوض الصومام، التباين المكاني والزمني، البيانات المرجعية.

## Résumé :

L'eau constitue, de loin, l'élément le plus abondant de notre planète et l'essentielle matière pour les êtres vivants. L'étude des processus pluviométriques dans les régions arides et semi-arides n'est plus à démontrer vu que l'eau y constitue le facteur limitant de premier ordre. Ainsi, une bonne connaissance de la distribution pluviométrique à la fois dans le temps et dans l'espace, est indispensable pour dégager d'une part les périodes critiques de sécheresse auxquelles les cultures sont exposées et d'autre part les zones favorables et les zones défavorables.

La variation spatiale et temporelle des précipitations dans le bassin du Soummam est étudiée sur une période de 34 ans (1972-2003) à partir d'une station de chute d'eau qui couvre la plupart de nos zones d'étude.

L'objectif de ce travail est de déterminer la variabilité spatiale des précipitations à l'échelle saisonnière et annuelle à l'aide de données de référence (Standard Precipitation Index (SPI), test d'homogénéité et de précipitations accumulées).

Cette étude a indiqué la présence de discontinuités, comme en témoignent les fluctuations des régimes de précipitations.

**Mots clés :** précipitations, bassin du Soummam, variation spatiale et temporelle, données de référence.

## Abstract :

Water is by far the most abundant element on our planet and essential material for living. The study of precipitation processes in arid and semi-arid regions is no longer seen to demonstrate that water is the limiting factor of the first order. Thus, a good knowledge of the rainfall distribution in both time and space, is essential to identify the critical periods of drought which crops are exposed and the other favorable areas and areas unfavorable.

The spatial and temporal variation of rainfall in the Soummam basin is studied over a period of 34 years (1972-2003) based on a water fall station that covers most of our study areas.

The aim of this work is to determine the spatial precipitation variation on the seasonal and annual scale using reference data (Standard Precipitation Index (SPI), homogeneity test and accumulated precipitation).

This study indicated the presence of discontinuities, as evidenced by fluctuations in precipitation patterns.

**Key words :** rainfall, Soummam basin, spatial and temporal variation, reference data.

# SOMMAIRE

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction générale

i

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

Introduction .....	1
I.1. Cycle global de l'eau (cycle de l'eau).....	1
I.2. Composants du cycle hydrologique.....	1
I.4. Classification des précipitations.....	3
I.5. Répartition de précipitation.....	3
I.5.1. Inégale répartition dans l'espace.....	3
I.5.1.1. À l'échelle du globe.....	3
I.5.1.2. À l'échelle régionale.....	4
I.5.1.3. À l'échelle locale.....	4
I.5.2. L'inégale répartition des pluies dans le temps.....	5
I.5.2.1. Variations aléatoires.....	5
I.5.2.2. Variations périodiques.....	5
I.5.2.3. Variation séculaire.....	6
I.6. Régime des précipitations.....	6
I.7. Changement climatique .....	8
I.7.1. Les indicateurs de l'évolution climatique.....	8
I.7.1.1. À l'échelle globale.....	8
I.7.1.2. A l'échelle régionale (l'Algérie).....	9
I.7.2. Causes de changements climatiques.....	10
I.7.3. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique.....	11
I.7.4. Impact du changement climatique sur les eaux de surface .....	11
I.7.5. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines.....	12
Conclusion.....	13

## **Chapitre II. Présentation de la région d'étude**

II.1.Introduction.....	14
II.2.Présentation de la zone d'étude.....	14
II.2.1. Situation géographique du bassin versant de la Soummam.....	14
II.2.2. Relief et hydrographie du bassin versant.....	15
II.2.3. Situation climatique du bassin versant de Soummam.....	15
II.2.4. Caractéristique morpho-métriques.....	19
II.2.4.1.Les caractéristiques de la disposition dans le plan.....	19
II.2.5. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes).....	21
II.2.6. Caractéristiques du réseau hydrographique .....	26
II.2.7.Géologie.....	30
II.2.8. Le couvert végétal.....	30
Conclusion.....	32

## **Chapitre III. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies**

III.1.1. Introduction.....	33
III.1.2. Conception de la base de données.....	33
III.1.3. Collecte de données.....	33
III.1.4. Etude de l'homogénéité des données.....	33
III.1.5. Analyse des données pluviométriques.....	34
III.1.5.1. choix des stations pluviométriques.....	34
III.1.5.2. comblement des lacunes.....	35
III.1.6. Analyse statistique .....	36
III.1.7. Méthode de détection de rupture dans la série chronologique.....	36
III.1.7.1. Test de Pettitt.....	36
III.1.7.2. Test de segmentation d'Hubert (1989).....	37
III.1.7.3. Test de Buishand.....	38
III.1.7.4 Test de Normalité.....	38
III.1.7.5 test de Lee & Heghinian.....	39
III.1.8. Représentation cartographique des données.....	40
III.1.8.1. Géostatistique.....	40
III.2.2. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies.....	42
III.2.1.Introduction.....	42

III.2.2. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelles.....	42
III.2.3. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle saisonnière	45
III.2.4. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle interannuelle	46
III.2.5. Répartition temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelle.....	46
III.2.6. Répartition temporelle des pluies à l'échelle saisonnière.....	49
III.2.7. Répartition temporelle des pluies à l'échelle annuelle.....	50
Conclusion.....	51
<b>Chapitre IV. Etude de la variabilité spatio-temporelle de l'indice de précipitation standardisé SPI</b>	
IV.1.1. L'indice de précipitation standardisé (SPI).....	52
IV.1. 2. Analyse en composante principale ACP.....	53
IV.2.1 Etude de la variabilité du SPI.....	54
IV.2.2. Analyse en composante principales.....	60
Conclusion.....	65
Conclusion générale	66
Références bibliographiques	68
Annexes	71

# Liste des tableaux

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

<b>Tableau I.1.</b> Régimes pluviométriques du monde.....	7
---	---

## Chapitre II. Présentation de la région d'étude

<b>Tableau II.1.</b> Températures moyennes mensuelles.....	16
<b>Tableau II.2.</b> Humidité relative (en %) enregistrée en 2003.....	17
<b>Tableau II.3.</b> Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003).....	17
<b>Tableau II.4.</b> Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles des 26 stations du bassin versant de la Soummam.....	18
<b>Tableau II.5.</b> L'indice global de pente.....	25
<b>Tableau II.6.</b> Deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M.....	25
<b>Tableau II.7.</b> Caractéristiques morpho-métriques et hydrographiques de BV de la Soummam.....	31

## Chapitre III. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies

<b>Tableau III.1.1.</b> Liste des stations pluviométriques retenues pour l'étude.....	35
<b>Tableau III.1.2.</b> Représente les paramètres de l'analyse statistique.....	36

## Chapitre IV. Etude de la variabilité spatio-temporelle de l'indice de précipitation standardisé SPI

<b>Tableau IV.1.1.</b> Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation Standardisé.....	52
<b>Tableau IV.2.1.</b> Classification des indices SPI.....	55
<b>Tableau IV.2.2.</b> Taux d'années sèches et d'années humides pour chaque station sur une période de 34 ans.....	55
<b>Tableau IV.2.3.</b> Répartition annuelle des SPI.....	57
<b>Tableau IV.2.4.</b> Années normales, humides et sèches pour chaque station.....	59
<b>Tableau IV.2.2.1.</b> Pourcentage de la variance de l'A.C.P.....	60
<b>Tableau IV.2.2.2.</b> Vecteurs propres.....	61
<b>Tableau IV.2.2.3.</b> Corrélations entre les variables et les facteurs.....	62

# Liste des figures

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

<b>Figure I.1.</b> Schéma du cycle de l'eau (source : <a href="http://ga.water.usgs.gov/watercycle.html">http://ga.water.usgs.gov/watercycle.html</a> .....	2
<b>Figure I.2.</b> Répartition mondiale des précipitations (Source : <a href="http://www.ctrdv.fr/GaleriePhoto/picture.php?/709/category/107">http://www.ctrdv.fr/GaleriePhoto/picture.php?/709/category/107</a> ).....	4
<b>Figure I.3.</b> Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale source : <b>GIEC</b>	9
<b>Figure I.4.</b> Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)( <b>Djellouli, 2008</b> ).....	10
<b>Figure I.5.</b> Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901- 2000)( <b>Djellouli, 2008</b> )	10

## Chapitre II. Présentation de la région d'étude

<b>Figure II.1.</b> Localisation géographique de la zone d'étude(Sahli et all, 2019)	14
<b>Figure II.2.</b> Réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam.....	15
<b>Figure II.3.</b> Le rectangle équivalent du BV de la Soummam.....	20
<b>Figure II.4.</b> La courbe hypsométrique du bassin de Soummam.....	21
<b>Figure II.5.</b> Carte Hypsométrique BV de Soummam.....	21
<b>Figure II.6.</b> Carte de pentes du BV de la Soummam.....	23
<b>Figure II.7.</b> Réseau hydrographique et ses ordres du BV de la Soummam.....	27
<b>Figure II.8.</b> La ligne de drainage du bassin versant de la Soummam.....	28
<b>Figure II.8.</b> La ligne de drainage du bassin versant de la Soummam.....	31

## Chapitre III. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies

<b>Figure III.1.1.</b> Résultats du test de Pettitt de la station 150611.....	37
<b>Figure III.1.2.</b> Résultat d'application de test de Pettit à la série pluviométrique de la station 150611	37
<b>Figure III.1.3.</b> Segmentation de Hubert de la station 150611.....	38
<b>Figure III.1.4.</b> Ellipse de Bois à 99, 95 et 90%.....	38
<b>Figure III.1.5.</b> Test de normalité sélectionné de la station 150611.....	39
<b>Figure III.1.5.</b> Résultat d'application de test de Lee & Heghinian sur la série pluviométrique de la station 150611	39
<b>Figure III.1.6.</b> Interface de fenêtre de la méthode krigeage.....	41
<b>Figure III.2.2.1</b> Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelles...	43
<b>Figure III.2.2.2.</b> Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle saisonnière.....	45

<b>Figure III.2.2.3.</b> Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle interannuelles.....	46
<b>Figure III.2.2.</b> Répartition temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelle.....	47
<b>Figure III.2.2.</b> Répartition temporelle des pluies à l'échelle saisonnière.....	49
<b>Figure III.2.2.</b> Répartition temporelle des pluies à l'échelle annuelle.....	50

## **Chapitre IV. Etude de la variabilité spatio-temporelle de l'indice de précipitation standardisé SPI**

<b>Figure IV.1</b> Classification des valeurs des SPI.....	54
<b>Figure IV.2.</b> Projection des variables sur un plan F1*F2.....	63
<b>Figure IV.3.</b> Représentations des deux groupes de stations.....	63
<b>Figure IV.4.</b> Représentation spatiales des stations humides et sèches selon le résultat d'ACP.....	64
<b>Figure IV.5.</b> Distribution des années sur les deux axes F1 et F2.....	65

## **Liste des annexes**

**Annexe n°1.**Calcul et classification des SPI

**Annexe n°2 :** Classifications des valeurs SPI pour différentes stations pluviométriques

# **Introduction générale**

## Introduction générale

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

Les conditions climatiques dans les régions à des climats de type aride ou semi- aride qui règnent sur la plus grande partie du pays font que les ressources renouvelables en eaux superficielles sont très irrégulières dans le temps et dans l'espace car la circulation de l'eau dans un bassin entièrement gouvernée par la distribution spatiale de la pluie.

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

La présente étude ayant pour thème «Analyse et cartographie de la variabilité spatio-temporelle des précipitations dans le Bassin versant de l'Oued Soummam» s'inscrit dans ce contexte. L'objectif principal est l'étude de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles issues de données relevées au niveau de 26 postes pluviométriques repartis sur la zone d'étude sur une période s'étalant de 1970 à 2003.

Les objectifs de ce travail sont :

- Elaboration une banque de donnée sur notre zone d'étude.
- Etudier le régime pluviométrique annuel et saisonnier.
- Elaboré des cartes pluviométriques (interannuelle, inter mensuelle et saisonnière) pour visualiser la variabilité de régime pluviométrique en fonction des facteurs de milieu naturel.

Ce travail est organisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre consacré à la bibliographie que nous donnons quelques généralités sur les précipitations, les notions du régime pluviométrique.
- Le deuxième chapitre consacré à la présentation de la zone d'étude (Bassin versant Soummam).
- Le troisième chapitre se départage en deux parties principales : la première partie s'intéresse à la présentation des méthodes et modèles utilisés pour réaliser ce travail, la deuxième partie consiste à faire une application de ces méthodes.
- Le chapitre quatre compose en deux parties : la première partie consiste à définir les outils et la méthodologie utilisée (l'indice de précipitation standardisé (SPI) et l'analyse en composantes principales (ACP)), la deuxième partie dont la présentation des résultats et discussions.

**Chapitre I.**  
**Recherche bibliographique**

## Chapitre I. Synthèse bibliographique

### Introduction

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

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

**LABORDE (2009)** a défini le cycle de l'eau, cycle hydrologique, comme l'ensemble des cheminements que peut suivre une particule d'eau. Ces mouvements, accompagnés de changements d'état, peuvent s'effectuer dans l'atmosphère, à la surface du sol et dans le sous sol. Chaque particule n'effectue qu'une partie de ce cycle et avec des durées très variables : une goutte de pluie peut retourner à l'océan en quelques jours alors que sous forme de neige, en montagne, elle pourra mettre des dizaines d'années. A ces apports atmosphériques s'ajoute l'apport éventuel de l'amont du versant, par des écoulements superficiels transitant en ce point. Enfin, à ces apports naturels s'ajoutent les apports artificiels de plus en plus fréquents dans les bassins à forte agriculture intensive, par une irrigation recyclant de l'eau prélevée dans les réserves superficielles ou souterraines du bassin, voire même importée d'un autre bassin.

### I.2. Composants du cycle hydrologique

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

- **Complexe Évaporation-Transpiration**

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

- Précipitations

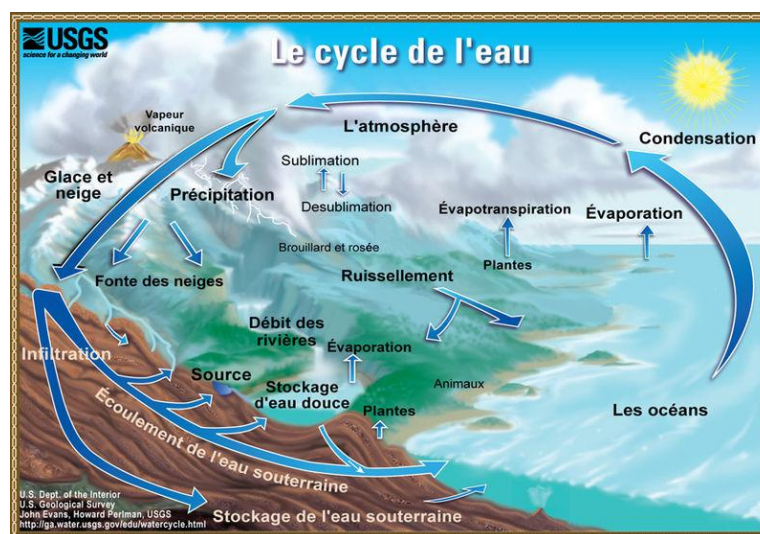
Durant son ascension dans l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et finit par se condenser, généralement autour de minuscules particules de poussière dans l'atmosphère. En se condensant, elle redevient liquide ou passe directement à l'état solide (glace, grêle ou neige). Ces particules d'eau s'assemblent pour former des nuages. Selon la température de l'air ambiant. Une partie de l'eau précipitée retourne vers l'atmosphère par le phénomène d'évaporation (Morell, 1999), l'eau non restituée à l'atmosphère migre sous deux formes :

- **L'écoulement de surface (Ruissellement)**

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

- **L'écoulement souterrain (Eau souterraine)**

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



**Figure I.1.** Schéma du cycle de l'eau (source : <http://ga.water.usgs.gov/watercycle.html>)

### 3. La Précipitation

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

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

#### I.4. Classification des précipitations

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

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

#### I.5. Répartition de précipitation

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

##### I.5.1. Inégale répartition dans l'espace

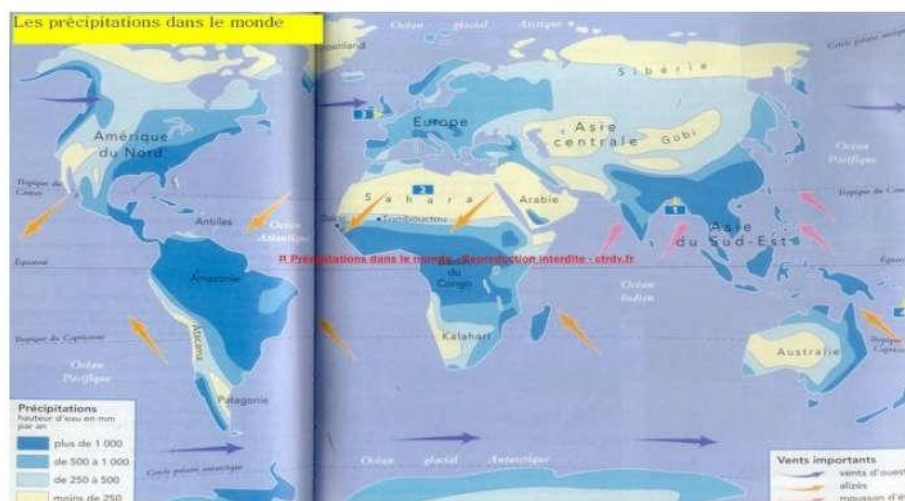
L'inégale répartition des précipitations, à laquelle il a déjà été fait allusion, s'observe quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte.

##### I.5.1.1. À l'échelle du globe

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

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

À l'échelle du globe, les zones de précipitations maximales sont les zones équatoriales et les régions de mousson (figure I.02).



**Figure I.2.** Répartition mondiale des précipitations (Source : <http://www.ctrdiv.fr/GaleriePhoto/picture.php?/709/category/107>)

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

#### **I.5.1.2. À l'échelle régionale**

À l'échelle de pays comme l'Algérie, les influences orographiques apparaissent vite comme déterminantes. Les régions les plus arrosées sont représentées dans l'Est de l'Atlas Tellien. Elle exprime l'influence simultanée de l'orographie et de la circulation atmosphérique régionale durant toute l'année. La moyenne annuelle atteint 800 mm, le régime pluviométrique se caractérise par un maximum pendant la saison froide, et par des intensités pluviométriques relativement fortes (Medjerab A, Henia L ,2005), C'est l'une des régions les plus arrosées d'Algérie. Elle est soumise au climat méditerranéen, caractérisé par un été sec et ensoleillé. Les moyennes annuelles des précipitations sont du Sud au Nord très variables de 450 à 1000 mm. (Bahroun S.,Kherici Bousnoubra H. 2011)

#### **I.5.1.3. À l'échelle locale**

À l'échelle locale, même pour de toutes petites surfaces, la variabilité des précipitations peut être considérable; elle est toute fois d'ampleur différente suivant les types de pluies, bien plus importante pour des pluies convectives que pour des pluies cycloniques. Or il s'agit là, notamment en ce qui concerne la grève des crues, d'un phénomène d'autant plus fondamental qu'il est difficile à connaître avec précision.

Cette inégale répartition dans l'espace à l'échelle du bassin versant a fait l'objet de nombreuses recherches, dans la mesure où cette préoccupation rejoint la question de la mesure des précipitations. (**Robinson M. 2000**)

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

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

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

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

#### **I.5.2.1. Variations aléatoires**

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

#### **I.5.2.2. Variations périodiques**

Il existe des variations des minimums et des maximums pluviométriques se produisant à un rythme relativement régulier, et donc assimilables à des cycles. Les plus connus sont les cycles diurnes et les cycles annuels. Dans l'un comme dans l'autre cas, les précipitations se produisent dans les périodes les plus chaudes, quand la teneur en eau de l'atmosphère est la plus élevée, et la convection thermique la plus forte.

Les variations diurnes ne sont importantes que dans les régions où l'essentiel des précipitations est d'origine convective, résultat de la surchauffe de la surface du sol pendant la journée. Ce type de variation se rencontre essentiellement en climat tropical humide. **(BRAHIMI. Djalal ,2014)**

### **I.5.2.3. Variation séculaire**

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

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

### **I.6. Régime des précipitations**

En utilisant la seule donnée de précipitation dans une nomenclature climatique, on parvient à définir une répartition mondiale des différents régimes pluviométriques. Pour identifier et classer les diverses régions pluviométriques du globe, on a habituellement recouru aux précipitations moyennes mensuelles ou annuelles (évaluées sur une longue période) et à leurs variations. La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'année (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle.

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

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

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

## **I.7. Changement climatique**

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

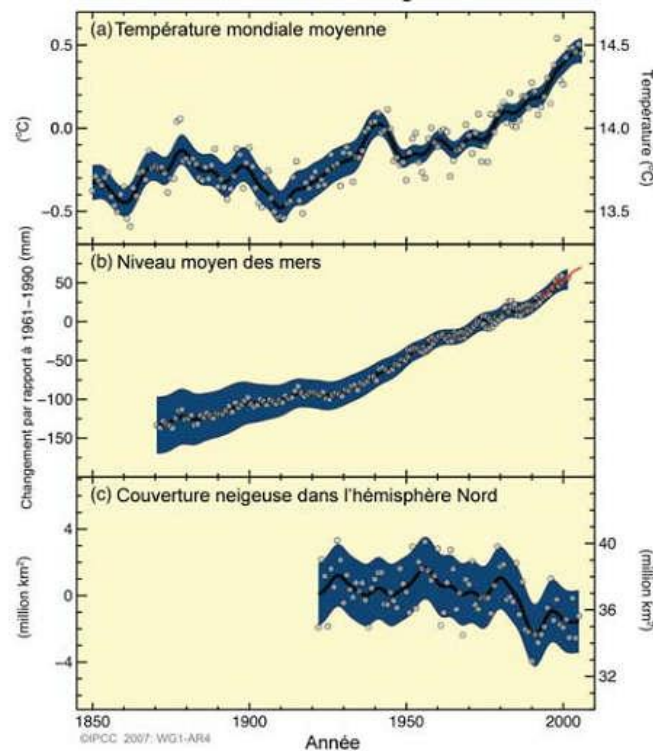
### **I.7.1. Les indicateurs de l'évolution climatique**

#### **I.7.1.1. À l'échelle globale**

Selon le 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC publié en 2007, les changements climatiques observés à l'échelle globale peuvent être résumé en :

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

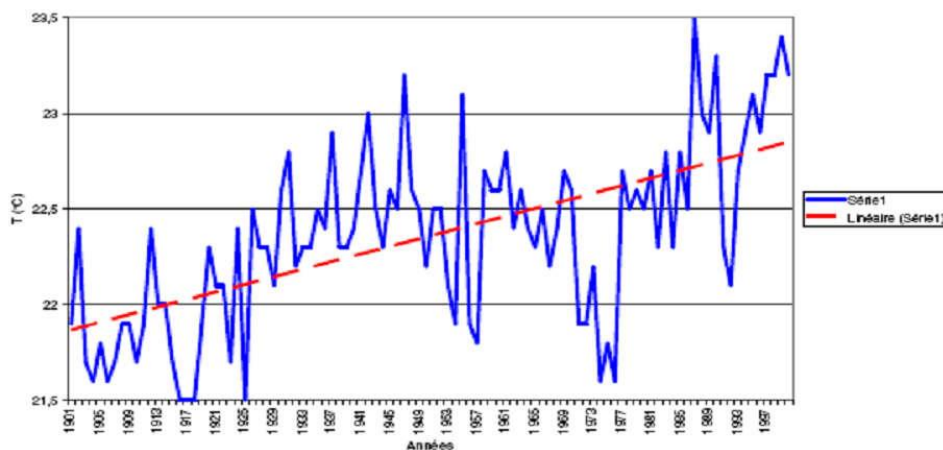
- Les indicateurs biologiques, tels que les déplacements de populations animales terrestres ou marines et l'évolution des dates d'activités agricoles saisonnières, montrent aussi la survenue d'un réchauffement climatique.
- Les événements climatiques extrêmes comme les inondations, les sécheresses et les vagues chaleurs.



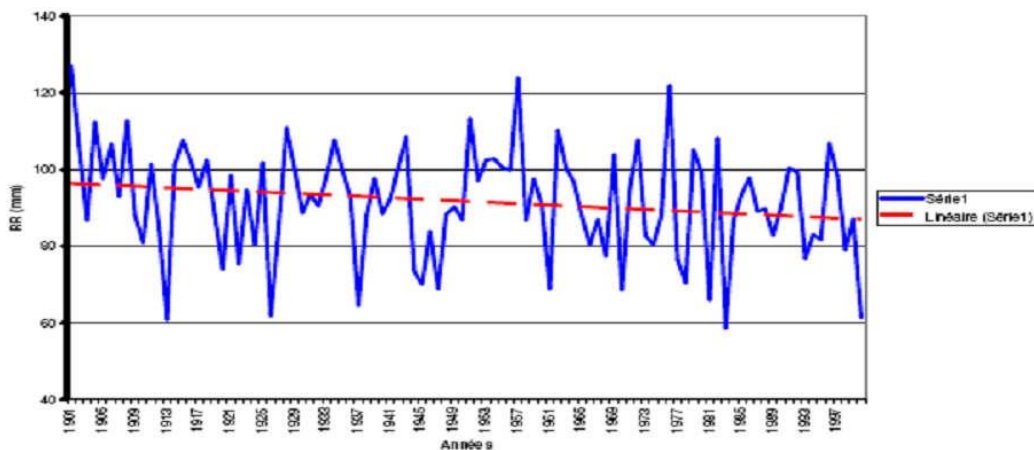
**Figure I.3.** Les indicateurs du changement climatique à l'échelle globale source : **GIEC**

### **I.7.1.2. A l'échelle régionale (l'Algérie)**

En Algérie, l'évolution récente du climat montre que le réchauffement est plus important que la moyenne et qu'il se manifeste sous forme d'une sécheresse. En effet sur les 40 dernières années les températures moyennes annuelles ont subi une augmentation de 0.5°C (figure 4). Ainsi les sécheresses de la même période sont encore plus remarquables compte tenu du déficit pluviométrique enregistré un peu partout sur le territoire, particulièrement à l'Ouest du pays. La baisse de la pluviométrie dans cette période est estimée à environ 10% de la moyenne. Donc le changement climatique en Algérie se présente sous forme d'une sécheresse. (**ABDERRAHMANI. BELAI, 2015**)



**Figure I.4.** Evolution des températures moyennes annuelles de l'Algérie (1901-2000)  
(Djellouli, 2008).



**Figure I.5.** Evolution des totaux annuels de précipitations de l'Algérie (1901-2000)  
(Djellouli, 2008).

### I.7.2. Causes de changements climatiques

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

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

« Les rejets de gaz à effet de serre d'origine anthropique sont responsables d'environ 75% du phénomène des changements climatiques (**Saidi, 2011**) ».

- La radiation du Soleil reçue par la Terre hors de l'atmosphère à une latitude donnée en été ou en hiver dépend de la luminosité du Soleil et de la distance de la Terre au Soleil, et de l'orientation de l'axe de rotation de la Terre. Ces derniers paramètres varient à l'échelle de dizaines de milliers d'années en raison de perturbations gravitationnelles exercées par la Lune et les autres planètes (**Puget et al, 2010**).
- La déforestation est responsable d'un quart du phénomène des changements climatiques.

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

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

### **I.7.3. Impact du changement climatique sur le cycle hydrologique**

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

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

### **I.7.4. Impact du changement climatique sur les eaux de surface**

Plusieurs études indiquent que l'écoulement de surface a augmenté à l'échelle globale au cours du 20<sup>ème</sup> siècle (**Labat et al. 2004 ; Milly et al. 2005**). Cette évolution masque toutefois des tendances régionales opposées : les débits des fleuves ont augmenté de manière

importante en Europe du Nord et au nord-ouest de l'Amérique du Nord tandis qu'ils ont eu tendance à diminuer en Europe du Sud et en Afrique sub-saharienne. **(Franck, Lespinas ,2008)**

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

### **I.7.5. Impact du changement climatique sur les eaux souterraines**

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

En Algérie, la diminution des pluies due aux sécheresses qui sévissent depuis le début des années 70 a entraîné une baisse constante des réserves d'eau souterraine des principales nappes aquifères du nord du pays. Dans beaucoup de plaines du pays, le niveau des nappes phréatiques a déjà chuté dans des proportions alarmantes (> 20 m.) **(ANONYME, 2009)**

L'aggravation des sécheresses conjuguée à la surexploitation des nappes phréatiques a entraîné la minéralisation des zones non saturées des nappes aquifères profondes, dans les régions semi-arides comme le plateau d'Oran et les hautes plaines occidentales. Le taux moyen d'utilisation des nappes phréatiques est de 79% dans la région Nord, il peut parfois atteindre et dépasser les 90% dans certaines zones. **(Bates, B.et al ,2008)**.

Dans les régions côtières, la baisse des niveaux de pression hydrostatique a d'ores et déjà entraîné la pénétration d'eau de mer dans les réserves d'eau douce des nappes aquifères côtières des régions de la Mitidja, d'Oran, de Terga et d'Annaba. **(ANONYME, 2009)**

## Conclusion

L'étude du cycle de l'eau et du climat est donc primordiale à la fois sur le plan scientifique et sur le plan sociétal. Le cycle de l'eau est un processus clé dont dépend le fonctionnement d'autres paramètres. Par exemple, il faut bien comprendre le cycle de l'eau avant d'entamer l'étude de la variation de la précipitation à l'échelle spatiale et temporelle. Le pluviomètre ou le réseau de pluviomètres reste aujourd'hui le moyen le plus répandu pour la mesure des précipitations en hydrologie. Cet outil a bénéficié au cours des dernières années et bénéficiera encore de nombreuses améliorations relatives à la précision et à la fiabilité des systèmes d'enregistrement. Ce procédé de mesure demeure cependant très sensible au vent et les conditions optimales d'implantation ne peuvent que rarement être observées.

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

**Chapitre II.**  
**Présentation de la région  
d'étude**

## Chapitre II. Présentation de la région d'étude

### II.1.Introduction

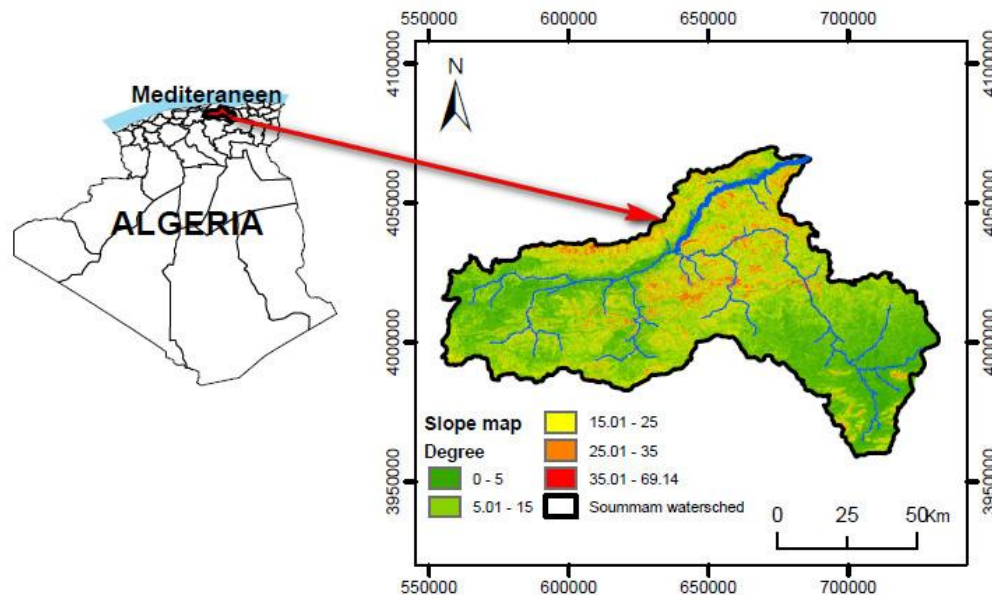
Dans ce chapitre, nous avons traité d'une description générale du bassin versant de Soummam afin de donner les indications géographiques, géomorphologiques, géologique et hydrogéologiques, bases indispensables à la compréhension future des mécanismes hydrologiques.

### II.2.Présentation de la zone d'étude

#### II.2.1. Situation géographique du bassin versant de la Soummam

Le bassin versant de la Soummam (Figure II.1) est situé dans la partie nord-est algérien et sur une carte d'échelle de (1/20 000) entre des abscisses comprises entre  $3,5^{\circ}<X<5,5^{\circ}$  et des ordonnées comprises entre  $35,5^{\circ}<Y<37^{\circ}$ . Il est limité au nord par le bassin versant Côtiers Algérois, au sud par le bassin versant Shott el Hodna, à l'est par les bassins versant Côtiers Constantinois, KébirRhumel et Hauts plateaux constantinois, à l'ouest par le bassin versant Isser. Le bassin versant de la Soummam s'étend sur 4 Wilaya : Bejaïa, Bouira, Bordj Bou Arreridj et Sétif.

Le bassin couvre une superficie de 9111,5728 Km<sup>2</sup> de forme irrégulièrement étirée dans la direction Est-Ouest et accède à la Méditerranée par le golf de Bejaïa.



**Figure II.1.** Localisation géographique de la zone d'étude (Sahli et al., 2019).

### II.2.2. Relief et hydrographie du bassin versant

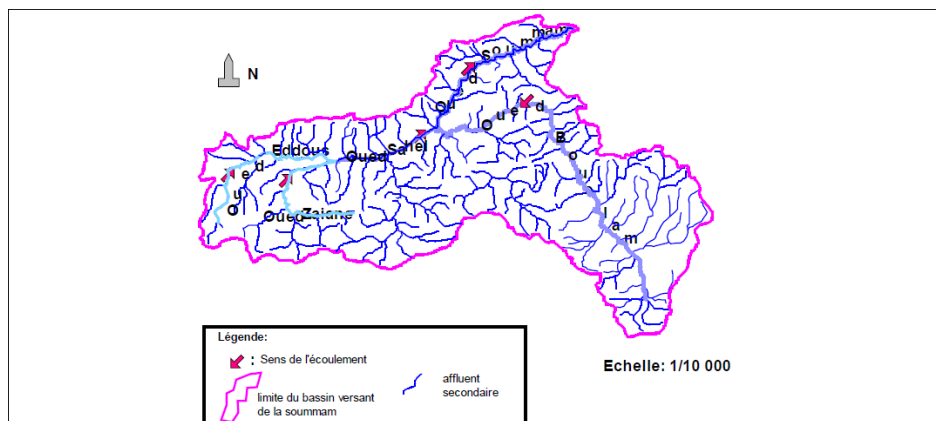
De Bouira à Akbou, la chaîne de Djurdjura n'est en aucun endroit inférieure à 1500 m, d'Akbou en allant vers La mer, la hauteur diminue graduellement.

Le bassin de la Soummam est hydrographiquement très développé, trois rivières et leurs affluents constituent son squelette :

Le Sahel affluent venant du nord-ouest, le Bousellam venant du nord-est, la Soummam qui se forme à Akbou au confluent du Sahel et de Bousellam et coule du nord-est vers la mer.

Le Sahel étant l'affluent le plus important, il est formé à partir d'Oued Zaiane et de Oued Eddous.

Le réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam est illustré dans la (Figure II.2).



**Figure II.2.** Réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam

### II.2.3. Situation climatique du bassin versant de Soummam

Le climat peut être défini comme étant l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état de l'atmosphère et de son évolution en un lieu donné. Les principales composantes du climat sont : les précipitations, la température, le vent, et l'humidité relative.

- **Les précipitations**

La pluviométrie dans le bassin de la Soummam est déterminée grâce à l'existence de 41 stations pluviométriques représentatives prises en compte par l'ANRH dans le cadre du projet PNUD/ALG/88/021, pour l'étude de la pluviométrie de l'Algérie du Nord.

Le régime de la pluviométrie moyenne annuelle est connu grâce à l'interprétation de la carte pluviométrique à l'échelle 1/500 000 éditée par l'ANRH en 1993 dans le cadre du projet suscité.

Il en ressort d'après cette carte que la pluviométrie moyenne annuelle pour l'ensemble du bassin oscillant entre 300 et 1000 mm en augmentant d'Ouest vers l'Est.

- **Les températures**

Le bassin de la Soummam est caractérisé généralement par deux saisons :

- ✚ Une saison chaude allant du mois de Juin au mois de Septembre.
- ✚ Une saison froide nettement plus longue, allant du mois d'Octobre au mois de mai.

Les valeurs de la température moyenne mensuelle enregistrées aux niveaux de 04 stations climatiques représentatives dans le bassin sont mentionnées dans le tableau II.1. La période d'observation est de 1993 à 2003.

**Tableau II.1.**Températures moyennes mensuelles

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Bouira	22,3	18,1	12 ,6	9,2	8,3	8,8	11,7	13,7	18,6	28,9	37,1	37,5
Béjaia	23,3	20,1	16,0	13,2	11 ,4	11,5	12,9	15,2	18 ,9	29,4	33,9	36,3
B.B.A	22,1	16,6	10,6	7,0	6,3	7,2	10,4	12,8	17,9	27,0	36,6	37,2
Sétif	20,3	15,7	9,8	6,4	5,4	6,2	9,4	11,6	17,7	29,8	35,4	36,1
<b>Moy Mensuelle</b>	22,0	17,6	12,2	9,0	7,8	8,4	11,1	13,3	18,3	28,8	34,5	36,7

D'après le tableauII.1, on peut constater que les mois les plus froids sont Décembre, Janvier et Février tandis que les mois les plus chauds sont Juillet et Août.

- **L'humidité relative**

D'une manière générale, le bassin de la Soummam est caractérisé par une humidité élevée sur l'ensemble de son territoire à l'exception de la partie Est du bassin (Bordj Bou Arréridj-Sétif). Le tableauII.2 présente l'humidité relative des 4 stations.

**Tableau II.2.** Humidité relative (en %) enregistrée en 2003[1]

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
<b>Bouira</b>	91	87	79	77	75	50	45	48	67	78	81	86
<b>Béjaia</b>	78	77	79	82	82	72	73	70	79	81	77	76
<b>B.B.A</b>	78	78	70	68	59	43	32	40	56	73	72	79
<b>Sétif</b>	83	82	73	71	65	49	38	43	64	73	78	86

Source : ONM

L'examen du tableau ci-dessous montre que les moyennes mensuelles de l'humidité relatives sont plus élevées en hiver qu'en été; cela est certainement dû à la température plus élevée en été qu'en hiver. Les valeurs relativement grandes de l'humidité indiquent une grande possibilité de condensation de la vapeur, ce qui pourrait contribuer à l'amélioration du bilan hydrique en hiver par rapport à l'été.

- **Le vent**

Le phénomène est habituellement accompagné d'une part d'une évaporation accentuée de la surface du sol et de la végétation et d'autre part du dessèchement du sol et de la couverture végétale. Des vents chauds et secs brûlent les champs de blé par suite d'une réduction d'humidité dans les plantes et de l'évaporation de la couche superficielle du sol.

Dans le bassin versant de la Soummam est canalisé par les massifs montagneux voisins sa direction prédominante est nord-est et sud-ouest. (ONM)

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen sur dix ans sont données par le Tableau suivant :

**Tableau II.3.** Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003) [2]

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Déc
<b>V(m/s)</b>	4,7	4,28	3,92	3,52	3,58	3,47	3,63	3,38	3,54	4,13	4,4	4,91

La vitesse du vent la plus faible a été enregistrée le mois d'aout de l'ordre de 3,38 m/s contrairement à la période hivernale où les vents sont froids et violents surtout dans le mois de décembre et janvier dont la vitesse du vent varie entre 4,91 et 4,7 m/s.

- **Pluviométrie**

La pluviométrie du bassin versant de l'oued Soummam est bien déterminée grâce à l'existence d'environ 50 stations pluviométriques, soit à peu près une station pour 180 km<sup>2</sup>. Le montant de la précipitation annuelle est caractérisé par grands écarts dans le bassin de la Soummam. La précipitation est au maximum sur les pentes des montagnes du Djurdjura et on l'estime à environ 1500 mm par an. La côte méditerranéenne, où la pluviosité annuelle atteint 1000 mm, est également une région de grande précipitation. La précipitation minimum, de 300 à 400 mm par an en moyenne, correspond à la partie sud-est du bassin sur le plateau qui s'étend de Sétif aux monts du Hodna.

**Tableau II.4.** Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles des 26 stations du bassin versant de la Soummam

N°	Code station	sept	oct	Nov	déc	janv	fév	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1	150611	31,7	42,7	40,8	55,5	54,1	42,4	42,9	44,3	35,5	15,7	7,0	6,9	419,6
2	150613	38,9	36,6	53,8	76,8	72,6	53,8	54,3	48,7	42,2	20,0	4,5	15,3	517,4
3	150627	35,3	35,4	32,1	38,9	40,5	32,7	37,7	33,7	31,3	13,1	3,4	6,4	331,7
4	150702	27,6	29,1	39,6	70,7	58,9	53,8	50,2	46,4	36,7	15,6	5,7	8,2	442,4
5	150703	33,7	37,5	51,6	84,3	77,1	71,4	59,7	54,4	40,6	11,8	3,6	6,7	532,5
6	150707	30,6	25,1	34,1	43,2	36,5	34,7	38,3	43,9	41,5	19,5	7,9	13,3	368,5
7	150724	31,8	25,7	31,7	45,2	41,5	34,9	41,3	41,9	36,1	18,4	7,8	11,0	367,3
8	150801	29,8	25,4	32,6	34,0	37,3	26,9	34,4	38,6	35,2	17,9	4,0	10,6	326,6
9	150802	28,6	35,5	43,8	85,7	73,0	67,6	64,6	49,2	41,0	11,1	7,5	4,8	512,4
10	150807	28,2	35,4	42,7	58,2	57,7	47,6	50,7	48,8	45,2	14,0	4,6	7,6	440,9
11	150902	26,5	31,8	35,8	52,0	49,0	39,3	42,0	40,1	38,9	10,6	3,8	6,8	376,6
12	150904	24,7	27,9	38,6	58,0	52,8	44,9	37,4	35,9	31,5	9,2	5,0	8,1	373,9
13	151001	28,9	38,3	48,5	76,9	74,6	60,1	50,0	49,9	33,1	9,4	2,5	8,8	480,9
14	151004	26,0	42,2	47,3	70,0	62,3	52,5	50,9	40,3	28,5	7,0	7,4	4,3	438,9
15	151006	28,2	37,4	48,0	77,2	64,2	57,9	51,8	50,2	36,7	11,5	5,6	8,5	477,1
16	151007	33,2	69,2	82,8	155,3	123,8	104,5	101,5	73,1	41,9	14,5	2,8	7,8	802,8
17	50901	26,9	21,6	26,4	21,1	23,6	20,1	21,9	25,1	30,2	11,9	3,7	8,0	239,7
18	150101	29,5	32,2	45,3	58,5	55,3	49,9	41,3	46,6	35,6	9,3	7,3	12,5	423,2
19	150115	27,6	26,0	37,7	55,3	55,6	45,0	41,5	42,1	23,8	8,6	2,2	12,6	388,9
20	150204	23,2	26,1	33,7	43,1	46,7	32,5	29,8	31,7	28,2	8,1	4,6	5,5	313,2
21	150301	24,7	23,1	31,8	46,2	44,9	35,8	35,1	29,3	24,9	9,6	2,9	6,3	351,0
22	150401	27,4	26,4	27,8	30,5	32,0	28,8	25,6	31,2	31,0	9,9	3,9	8,5	282,9
23	150402	21,4	20,1	22,1	26,3	30,1	22,0	24,3	27,8	20,8	12,0	1,4	6,1	234,5
24	150501	24,8	27,4	39,6	52,2	51,2	44,3	42,0	37,4	28,4	8,8	5,5	7,6	369,2
25	150602	35,3	38,2	42,3	57,1	55,7	42,9	45,0	42,3	36,3	16,3	4,9	9,5	422,9
26	150708	37,8	43,9	55,7	72,1	65,4	61,7	53,2	57,2	42,8	14,5	5,2	10,3	519,9

## II.2.4. Caractéristique morpho-métriques

### II.2.4.1. Les caractéristiques de la disposition dans le plan

#### A. La surface (A)

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. Ses limites dans un bassin sont formées par les lignes de partage des eaux qui le séparent des autres bassins adjacents. Elle peut être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciel Arc Gis ...).

Dans notre cas, la surface du bassin versant de la Soummam est égale à **9111,5728 km<sup>2</sup>**.

#### B. Le périmètre (P)

Le périmètre du bassin versant est la longueur de la ligne de partage des eaux, il représente le contour limitant la surface du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré par un curvimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciel ArcGis ...). Le périmètre du bassin versant de la Soummam est égal à **741.53 km**.

#### C. La forme (KG)

L'indice de compacité de Gravelius (1914) KG, défini comme le rapport du périmètre du bassin au périmètre du cercle ayant la même surface :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \dots \dots \dots (1)$$

Il est établi en comparant le périmètre du bassin à celui d'un cercle ayant la même surface du bassin **KG = 2,17** (le bassin de la Soummam est de forme allongée).

La forme d'un bassin versant influence l'allure de l'hydro-gramme à l'exutoire du bassin versant.

- ✚ Lorsque  $KG = 1$ , Le BV est de forme circulaire.
- ✚ Lorsque  $KG = 1,12$  : le BV est un carré.
- ✚ Lorsque  $KG$  se rapproche de 1 : le bassin est de forme compacte ou arrondi.
- ✚ Lorsque  $KG$  est supérieur à 1 : le bassin est de forme allongée.

#### D. Le rectangle équivalent

C'est une notion qui a été introduite par Roche (en 1963) qui permet de comparer facilement des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement. On suppose que l'écoulement sur un bassin donné est approximativement le même, à

conditions climatologiques égales, que sur un rectangle de même superficie, ayant même coefficient de Gravelius et même répartition hypsométrique, étant entendu que la distribution des sols et de la végétation et la densité de drainage sont respectées dans les différentes aires comprises entre les courbes de niveaux. Il s'agit donc d'une transformation purement géométrique dans laquelle le contour du bassin devient un rectangle de même périmètre, les courbes de niveaux des droites parallèles aux petits côtés du rectangle et l'exutoire un des petits côtés du rectangle que nous avons appelé rectangle équivalent.

Soit l et L la largeur et la longueur du rectangle. P et A le périmètre et la surface du bassin versant. On a, d'après les définitions ci-dessus :

$P = 2 \cdot (L_{rec} + l_{rec})$ ,  $A = L_{rec} \cdot l_{rec}$  et  $K_G = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}} = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$ . En combinant ces 3 relations, on obtient respectivement  $L_{rec}$  et  $l_{rec}$  la longueur et la largeur du rectangle équivalent.

$$L_{rec} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(2)$$

$$l_{rec} = \frac{K_G \sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right] \dots\dots\dots(3)$$

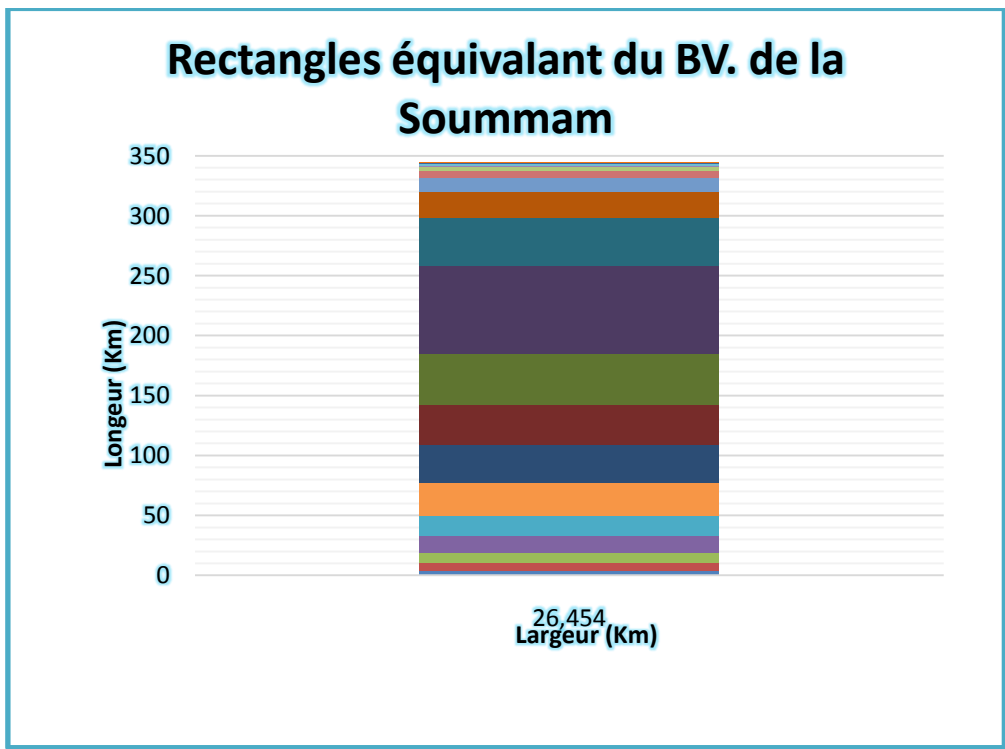


Figure II.3. Le rectangle équivalent du BV de la Soummam

### II.2.5. Caractéristiques Hypsométriques (Altitudes)

#### La courbe hypsométrique

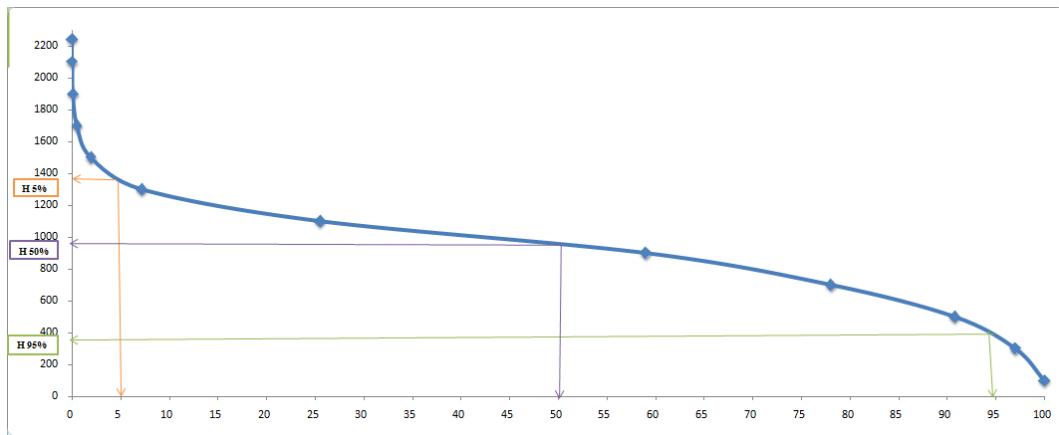


Figure II.4. La courbe hypsométrique du bassin de Soummam

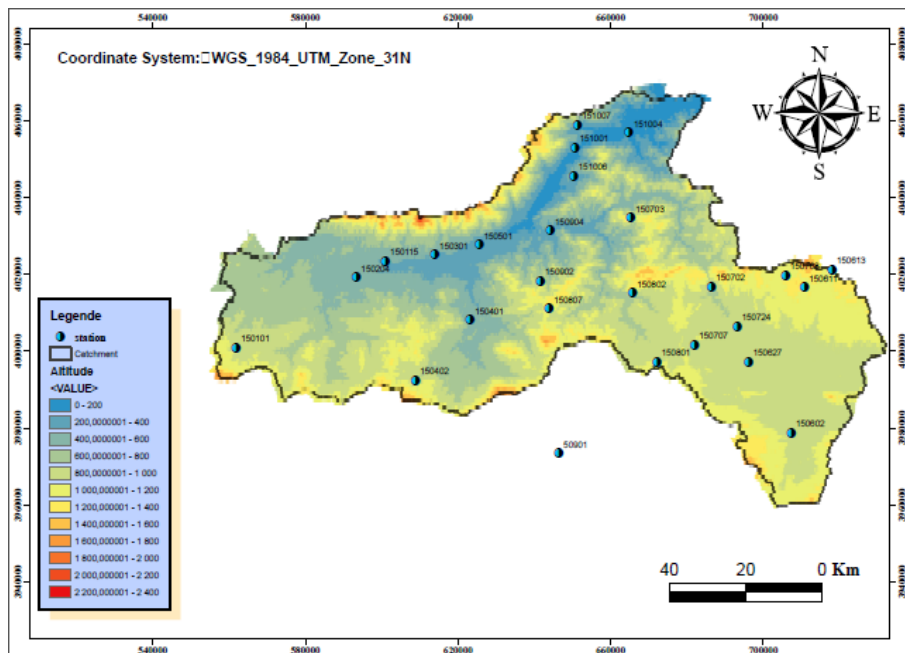


Figure II.5. Carte Hypsométrique BV de Soummam

#### A. Les altitudes maximale et minimale ( $H_{max}$ et $H_{min}$ )

Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire.

✚ L'altitude maximale=2287m.

✚ L'altitude minimale=0 m.

**B.L'altitude moyenne( $H_{moy}$ )**

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

$$H_{moy} = \sum_1^i \frac{A_i \cdot h_i}{A} \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

- ✚  $H_{moy}$  : 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>].
- ✚  $H_{moy}$  du bassin versant de Soummam égal à 820 m.

**C.L'altitude médiane ( $H_{50\%}$ )**

L'altitude médiane correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

L'altitude médiane dans le bassin de Soummam est égale à 950 m.

**D. La dénivelée simple (D)**

On définit la "dénivelée D" comme étant la différence de côte entre H5 % et H95 % :

Celles –ci sont lues sur la courbe hypsométrique.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \dots \dots \dots (5) D = 970 \text{ m}$$

**E.Les indices de pentes**

L'objectif de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre des comparaisons et des classifications.



$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L_{rec}}} \sum_{i=1}^n \left( X_i \sqrt{\frac{d}{x_i}} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Où :

- ✚  $I_p$  : indice de pente [%],
- ✚  $L_{rec}$  : longueur du rectangle [m],
- ✚  $x_i$  : distance qui sépare deux courbes sur le rectangle [m] (la largeur du rectangle étant constante, cette distance est égale au facteur de pondération),
- ✚  $d$  : distance entre 2 courbes de niveau successives (peut être variable) [m],
- ✚  $d/x_i$ : pente moyenne d'un élément [%].

### E.3. Indice de pente globale ( $I_g$ )

L'indice de Roche étant cependant trop long à évaluer pour des études rapides, il a été proposé, par Laborde, un indice encore plus simple : la pente globale

$$I_g = \frac{D}{L_{rec}} \dots \dots \dots (8)$$

$$I_g = 2,82\%$$

**Relief assez fort**

Où :

- ✚  $D$  : étant la dénivelée H5% - H95%, définie sur la courbe hypsométrique ou même directement à l'œil sur la carte topographique ;
- ✚  $L$  : étant la longueur du rectangle équivalent.

Cet indice, très facile à calculer, est des plus utilisés. Il sert de base à une des classifications (O.R.S.T.O.M. actuellement IRD) pour des bassins versants dont la surface est dès l'ordre de 25 km<sup>2</sup> :

**Tableau II.5.** L'indice global de pente.

R1	Relief très faible	$I_g < 0,002$
R2	Relief faible	$0,002 < I_g < 0,005$
R3	Relief assez faible	$0,005 < I_g < 0,01$
R4	Relief modéré	$0,01 < I_g < 0,02$
R5	Relief assez fort	$0,02 < I_g < 0,05$
R6	Relief fort	$0,05 < I_g < 0,1$
R7	Relief très fort	$0,1 < I_g$

**E.4. Dénivelée spécifique (Ds)**

L'indice  $I_g$  décroît pour un même bassin lorsque la surface augmente, il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique  $D_s$  ne présente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale  $I_g$  en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à A :

$$D_s = I_g \cdot \sqrt{A} = \frac{D}{L} \sqrt{L \cdot l} = D \sqrt{\frac{l}{L}} \dots \dots \dots (9)$$

$$D_s = 269,66 \text{ m}$$

La dénivelée spécifique ne dépend donc que de l'hypsométrie ( $D = H_{5\%} - H_{95\%}$ ) et de la forme du bassin ( $l/L$ ). Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M., indépendante des surfaces des bassins.

**Tableau II.6.** Deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M

R1	Relief très faible	$D_s < 10 \text{ m}$
R2	Relief faible	$10 \text{ m} < D_s < 25 \text{ m}$
R3	Relief assez faible	$25 \text{ m} < D_s < 50 \text{ m}$
R4	Relief modéré	$50 \text{ m} < D_s < 100 \text{ m}$
R5	Relief assez fort	$100 \text{ m} < D_s < 250 \text{ m}$
R6	Relief fort	$250 \text{ m} < D_s < 500 \text{ m}$
R7	Relief très fort	$D_s > 500 \text{ m}$

## II.2.6. Caractéristiques du réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est constitué de l'ensemble des chenaux qui drainent les eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. La définition d'un cours d'eau est difficile à donner avec précision, en particulier pour les cours d'eau temporaires. Selon le support cartographique utilisé, on étudiera le réseau avec plus ou moins de détails : en photographie aérienne, on pourra déceler des thalwegs de très faibles extensions, tandis qu'on ne verra que les cours d'eau pérennes et importants sur une carte au 1/100 000ème.

L'étude du chevelu hydrographique servant surtout à comparer des bassins entre eux, il suffit, dans la plupart des cas, de se fixer une définition du thalweg élémentaire et de l'appliquer pour l'étude de tous les bassins (par exemple : thalwegs = traits bleus temporaires ou pérennes sur carte I.G.N. au 1/50 000ème).

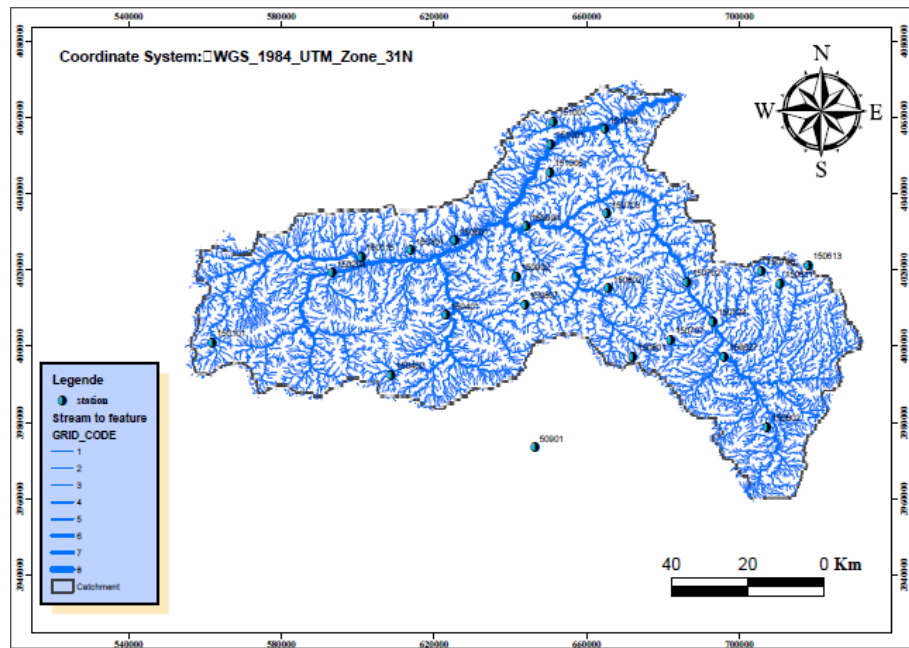
Le réseau hydrographique peut se caractériser par trois éléments : sa hiérarchisation, son développement (nombres et longueurs des cours d'eau) et son profil en long.

### A. Hiérarchisation du réseau (Ordre du bassin versant)

Pour chiffrer la ramification du réseau, chaque cours d'eau reçoit un numéro fonction de son importance. Cette numérotation, appelée ordre du cours d'eau, diffère selon les auteurs. Parmi toutes ces classifications, nous adopterons celle de Strehler :

- ✚ Tout cours d'eau n'ayant pas d'affluent est dit d'ordre 1,
- ✚ Au confluent de deux cours d'eau de même ordre  $n$ , le cours d'eau résultant est d'ordre  $n+1$ ,
- ✚ Un cours d'eau recevant un affluent d'ordre inférieur garde son ordre, ce qui se résume par :  $n + n = n + 1$  et  $n + m = \max (n.m)$ .

A l'aide de logiciel Arc Gis, le bassin de Soummam est d'ordre **8**.



**Figure II.7.** Réseau hydrographique et ses ordres du BV de la Soummam

**B. Pente moyenne Brute du cours d'eau principale**

La pente moyenne d'un cours d'eau détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. Cette variable influence donc le débit maximal observé. Le calcul des pentes moyennes et partielles du cours d'eau s'effectue à partir du profil longitudinal du cours d'eau principal et de ses affluents. La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer la pente longitudinale du cours d'eau consiste à diviser la différence d'altitude entre les points extrêmes du profil par la longueur totale du cours d'eau.

$$P_{moy} = \frac{\Delta H_{max}}{L} \dots \dots \dots (10)$$

- ✚  **$P_{moy}$**  : Pente moyenne du cours d'eau (m /km).
- ✚  **$\Delta H_{max}$**  : Dénivellation maximale de la rivière (m) (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire).
- ✚ **L** : longueur du cours d'eau principal (km).

**C. Longueur du cours d'eau principal**

La longueur du cours d'eau principal (L) est la distance curviligne depuis l'exutoire jusqu'à la ligne de partage des eaux, en suivant toujours le segment d'ordre le plus élevé lorsqu'il y a un embranchement et par extension du dernier jusqu'à la limite topographique du bassin versant.

$$L=739,23 \text{ km}$$

**C.1.Densité de drainage**

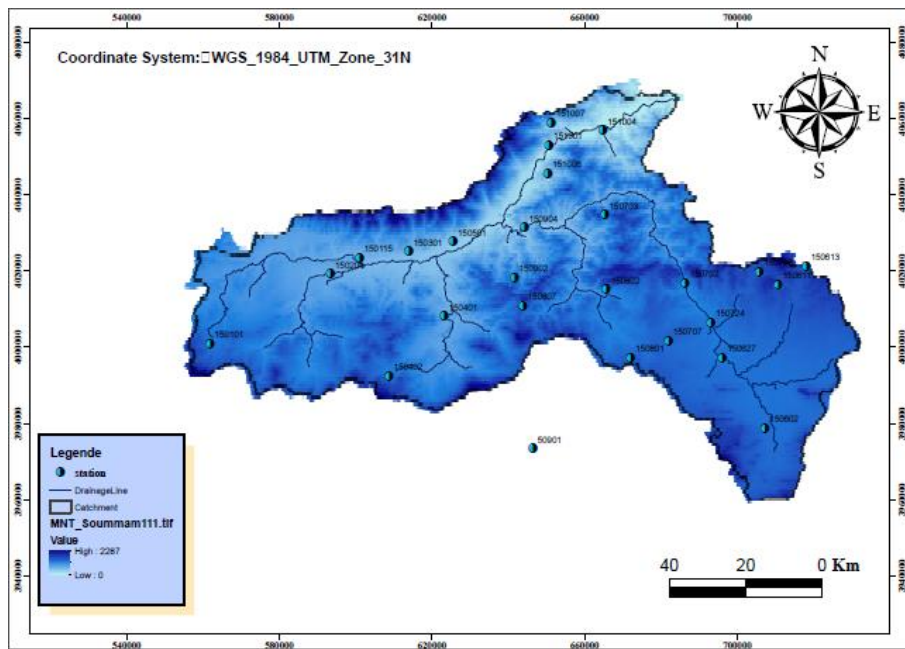
La densité de drainage, introduire par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$Dd = \frac{\sum Li}{A} \dots\dots\dots (11)$$

$$Dd=8,58\text{Km/Km}^2$$

- ✚ **Dd** : Densité de drainage (km/km<sup>2</sup>).
- ✚ **Li** : Longueur des cours d'eau (km).
- ✚ **A** : Surface du bassin versant (km<sup>2</sup>).

La densité de drainage au niveau de Soummam est égale à **8,58 Km/Km<sup>2</sup>**



**Figure II.8.** La ligne de drainage du bassin versant de la Soummam

**C.2.Constante de stabilité du cours d'eau**

Selon SHUMM, la valeur inverse de la densité de drainage est constante de stabilité du cours d'eau.

$$C = \frac{1}{Dd} \dots\dots\dots (12)$$

$$C=0,116 \text{ Km}$$

### C.3.Densité hydrographique

Représente le nombre des cours d'eau par unité de surface.

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \dots \dots \dots (13)$$

$$F=2,79 \text{ Km}^{-2}$$

Ou :

- **F** : densité hydrographique (km<sup>-2</sup>).
- **N<sub>i</sub>** : nombre des cours d'eau.
- **A** : Surface du bassin (km<sup>2</sup>)

### C.4. Rapport de confluence

C'est le rapport du nombre de thalwegs d'ordre x et de celui des thalwegs d'ordre immédiatement supérieur (x<sub>+1</sub>). Il est donné par la relation suivante :

$$R_c = \frac{N_x}{N_{x+1}} \dots \dots \dots (14)$$

✚ **R<sub>c</sub>** : Rapport de confluence des cours d'eau.

✚ **N<sub>i</sub>** : Nombre des cours d'eau d'ordre i.

### C.5.Coefficient de Torrentialité

C'est le rapport entre la fréquence des cours d'eau d'ordre 1 avec la densité de drainage.

$$C_t = D_d * F \dots \dots \dots (15)$$

$$C_t = 23,93 \text{ km}^{-3}$$

Cette valeur traduit que le bassin ne représente pas des caractéristiques morphométriques adapté à l'écoulement, ainsi qu'il est constitué par des formations perméables dont l'infiltration est importante.

**D. Temps de concentration**

An cas des bassins versant non jaugés, le temps de concentration représente la durée quemet une goutte d'eau de ruissellement du point le plus élevé au point représentant l'exutoire dubassin versant.

Le temps de concentration est déterminé par Les formules morpho-métriques suivantes :

✚ **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A}+1.5L_{cp}}{0.8\sqrt{H_{moy}-H_{min}}}\dots\dots\dots(16)$$

**Tc=65,083 h**

**E. Vitesse d'écoulement de l'eau :**

Elle est donnée par l'expression suivante :

$$V_e = \frac{L}{T_c}\dots\dots\dots(17)$$

- ✚ **Ve:** Vitesse d'écoulement de l'eau (Km /h).
- ✚ **L :** Longueur des cours d'eau principale en (km).
- ✚ **Tc :** temps de concentration en(h).

**Ve=11,36km /h**

**II.2.7.Géologie**

Le bassin versant de la Soummam est un bassin structurel et stratégique complexe formé pendant l'ère mésozoïque et au début du tertiaire.

Les formations dans la vallée comporte une épaisse de roches sédimentaire, pendant la période jurassique, quelque argilites ont été déposées. Le bassin repose sur les formations qui sont à découvert dans les parties les plus élevées de la vallée.

Ces régions ont subies une forte érosion pendant la fin du tertiaire et l'époque quaternaire.

**II.2.8. Le couvert végétal**

Dans une optique hydrologique, le couvert végétal d'un bassin versant agit sur trois processus : le ruissellement, l'infiltration et l'érosion. Si le rôle de la végétation vis-à-vis duruissellement et de l'infiltration est souvent opposé, il demeure décisif vis-à-vis de l'érosionhydrique. En particulier, sur les terrains des versants mal protégés ou nus, source principaled'alimentation de la charge solide des cours d'eau.

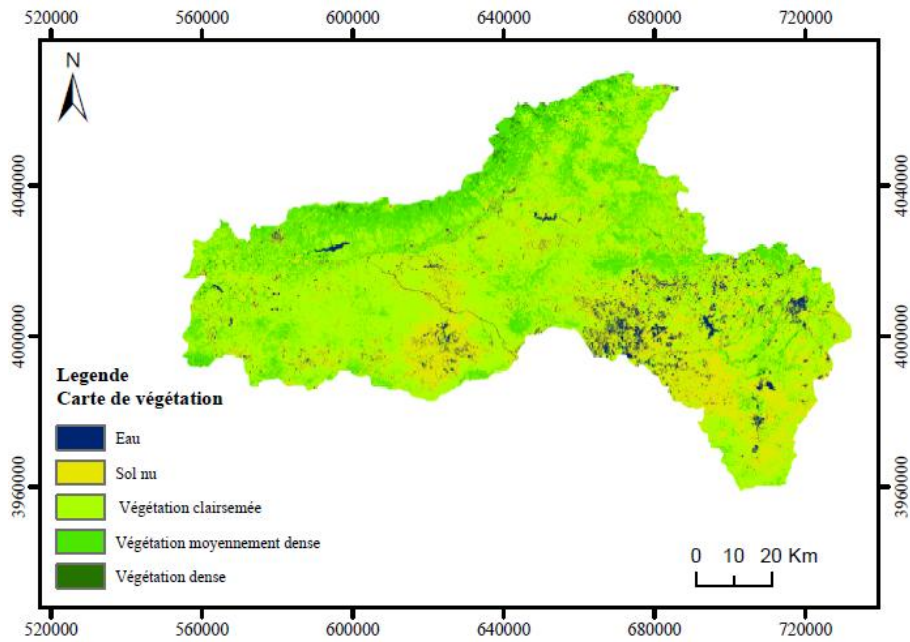


Figure II.9. Carte de végétation du bassin versant Soummam (Sahli et al., 2019)

Tableau II.7. Caractéristiques morpho-métriques et hydrographiques de BV de la Soummam

Paramètres		Symboles	Unités	Résultats
Caractéristiques morpho-métriques	La Surface	A	(Km <sup>2</sup> )	9111,57
	Le Périmètre	P	(Km)	741.53
	L'indice de compacité de Gravelius	K <sub>G</sub>	(-)	2,17
	La longueur du rectangle équivalent	L <sub>rec</sub>	(Km)	343,35
	La largeur du rectangle équivalent	l <sub>rec</sub>	(Km)	26,54
	Le rapport de confluence	R <sub>C</sub>	(-)	-
Caractéristiques du relief	L'altitude maximale	H <sub>max</sub>	(m)	2287
	L'altitude minimale	H <sub>min</sub>	(m)	0
	L'altitude moyenne	H <sub>moy</sub>	(m)	820
	L'altitude à 5%	H <sub>5%</sub>	(m)	1350
	L'altitude à 95%	H <sub>95%</sub>	(m)	380
	L'altitude à 50%	H <sub>50%</sub>	(m)	950
	La dénivelée simple	D	(m)	970
	La dénivelée spécifique	D <sub>s</sub>	(m)	269,66
	L'indice de pente globale	I <sub>g</sub>	(%)	2,82
	L'indice de pente roche	I <sub>p</sub>	(%)	-

	Pente moyenne Brute du cours d'eau principale	$P_{moy}$	(%)	23,96
Caractéristiques hydrographiques	Longueurs du cours d'eau	$\Sigma L_i$	(Km)	78255,05
	La densité de drainage	$D_d$	Km/Km <sup>2</sup>	8,58
	Densité Hydro-graphique	F	(Km <sup>2</sup> )	2,79
	Coefficient de Torrentialité	$C_t$	(KmM/Km <sup>4</sup> )	23,93
	Longueur du cours d'eau principale	$L_{cp}$	(Km)	739,23
	Temps de concentration	$T_c$	(h)	65,083
	Vitesse d'écoulement de l'eau	$V_e$	(Km/h)	11,36

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons été amenés à extraire le bassin versant en question, et à déduire sa caractéristique géomorphologique et hydrométrique, à partir d'un modèle numérique de terrain. L'évaluation de ces paramètres qui intervenant dans le comportement hydrologiques du bassin versant de la Soummam nous permis d'obtenir les résultats suivants :

La surface de la Soummam est égale à **9111,5728 Km<sup>2</sup>** et un périmètre de **741.53 Km**. Sa forme allongé avec un relief assez fort, pour une altitude moyenne de **820m**, le réseau hydrographique du bassin est caractérisé par un cours d'eau principale long de **739,23 Km** correspondant à un ordre **8**, un temps de concentration égale à **65,083 h** et une vitesse de ruissèlement de **11,36 Km /h**.

## **Chapitre III.**

# **Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies**

## Chapitre III. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies

### III.1.1.Introduction

Le but principal de cette partie est de définir les méthodes et les outils qui vont être utilisés pour montrer l'existence du changement climatique au niveau du bassin versant de SOUMMAM, nous définissons les méthodes statistiques utilisées pour la détection de la rupture aux séries de pluviométries.

### III.1.2. Conception de la base de données

Au cours de l'élaboration de notre base de données sur le bassin versant de la Soummam, nous nous sommes intéressés aux données climatiques et plus précisément sur la pluviométrie (moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles) qui constitue le thème essentiel de notre travail.

La démarche méthodologique s'est basée sur les axes de travail fixés dès le début et qui se révèlent dans deux principaux objectifs :

- Etude statistique des pluviométries mensuelles, saisonnières et annuelles dans le bassin de la Soummam.
- Caractérisation du régime pluviométrique dans le bassin de la Soummam.

### III.1.3. Collecte de données

Les données pluviométriques proviennent de sources différentes. Ces données peuvent être fournies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H), de l'Office National de la Météorologie (ONM). La disparité des sources pose souvent un problème de la qualité des données.

Ce qui a conduit à définir une période la plus longue possible et d'apporter le soin et le traitement nécessaire, afin qu'on puisse disposer de données suffisantes du point de vue qualité que quantité pour la réalisation de notre travail.

### III.1.4. Etude de l'homogénéité des données

Une série est dite homogène si les observations qui la composent ont été observées de la même façon et sont issues de la même population. Pour les statisticiens, la série de données est dite homogène si les propriétés statistiques de l'erreur de mesure affectant ces données sont restées invariables au cours de la période d'observation. (KHALDI, Abdelkader, 2005)

D'une façon générale les éléments climatiques dans le temps ne se produisent pas de la même façon et la série correspondante n'est pas purement stationnaire. Les causes perturbatrices les plus courantes de l'homogénéité des observations sont :

- Le mauvais état ou la défectuosité d'appareils de mesures.

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

Parmi les nombreuses méthodes permettant de vérifier l'homogénéité d'une série de données, nous utiliserons la méthode graphique du simple cumul.

La critique et le contrôle de la qualité des données pluviométriques sont donc des traitements qui doivent être effectués pour s'assurer de l'homogénéité et la fiabilité des séries pluviométriques.

### **III.1.5. Analyse des données pluviométriques**

#### **III.1.5.1. choix des stations pluviométriques**

Pour diverses raisons, Les données proviennent de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). Elles sont de qualité et de durée variables, et la plupart des données pluviométriques recueillies à travers les stations météorologiques contiennent des lacunes, Cela a nécessité un choix des stations basé sur les deux critères ; la position géographique par rapport au bassin et la qualité des données (faiblesse des lacunes dans les séries observées).

**Tableau III.1.1.**Liste des stations pluviométriques retenues pour l'étude.

Code station	X(km)	Y(km)
150611	710,78	4016,46
150613	718,07	4021,12
150627	696,15	3997,12
150702	686,41	4016,81
150703	665,31	4034,6
150707	682	4001,5
150724	693,18	4006,33
150801	672,12	3997,11
150802	665,7	4015,04
150807	643,88	4010,94
150902	641,63	4018,08
150904	644,21	4031,31
151001	650,68	4053,02
151004	664,81	4056,83
151006	650,37	4045,48
151007	651,32	4058,81
050901	646,45	3973,31
150101	561,88	4000,93
150115	561,88	4023,32
150204	593,39	4019,11
150301	613,95	4025,06
150401	623,18	4008,08
150402	608,81	3992,28
150501	625,54	4027,64
150602	705,87	4019,69
150708	707,32	3978,76

### III.1.5.2. comblement des lacunes

L'étude de la pluviométrie et de sa variabilité nécessite de disposer de longues et de plusieurs séries d'observations, soumises préalablement au test d'homogénéité et à l'assurance de leur fiabilité. Puisque la recherche d'hétérogénéité des séries pluviométriques a déjà été effectuée, la première étape dans cette analyse de données est donc de vérifier la fiabilité des données et la seconde est de combler les lacunes observées. (khaldi A, 2005).

Pour les besoins de l'étude et pour une bonne répartition spatiale, nous avons procédé au comblement des lacunes, Cette méthode est facile à utiliser grâce au logiciel HYDROLAB qui est un outil très simple parfaitement intégré au logiciel EXCEL (2003) dont l'utilisation est universelle. Pour se servir correctement d'HYDROLAB. On peut estimer les données manquantes ou erronées à une station à partir des valeurs provenant des stations voisines soumises aux mêmes conditions climatiques et situées dans la même zone géographique. On a utilisé la méthode comblement de lacune (Bouche trous) à l'aide de logiciel Hydrolab.

### III.1.6. Analyse statistique

Logiciel utilisé dans cette étude est XLSTAT (XLSTAT 2016) qui nous a bien aidés dans les calculs des paramètres des positions et les paramètres des dispersions.

**Tableau III.1.2.** Représente les paramètres de l'analyse statistique.

Paramètres de position	Paramètres de dispersion
Moyenne $\mathbf{M}$	la variance $\mathbf{Var}$
L'étendue $\mathbf{A}$	L'écart type $\mathbf{\sigma}$

L'objectif de la statistique descriptive est d'étudier la propriété numérique d'ensemble comportant de nombreux échantillons ou unité statistique, la réunion de toutes unités statistiques possibles forme la population statistique. (Meddi H, Meddi M ; 2009).

Tant que les données sont groupées, il est pratiquement intéressant de faire une représentation graphique, ce qui nous permet de voir l'aspect général de l'allure des distributions étudiées.

### III.1.7. Méthode de détection de rupture dans la série chronologique

Dans le cadre d'une étude sur la variabilité climatique pour l'analyse de séries hydrométéorologiques. L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) a mis à jour, un outil informatique qui consiste principalement à séparer et analyser séparément chacune des composantes constitutives de la série (test de rupture, segmentation). Cet outil est le logiciel **Khronostat**.

L'étude de la stationnarité des séries pluviométriques annuelles, appliquées à chaque série chronologique de chaque sous bassin, est un outil d'identification de la variabilité de la pluviométrie du la plaine.

Ce test donnent des résultats généralement concordants, du moins, au niveau de la reconnaissance d'une hétérogénéité dans la série, même si les estimations des ruptures en moyenne données par plusieurs tests différent parfois de quelques années.

#### III.1.7.1. Test de Pettitt

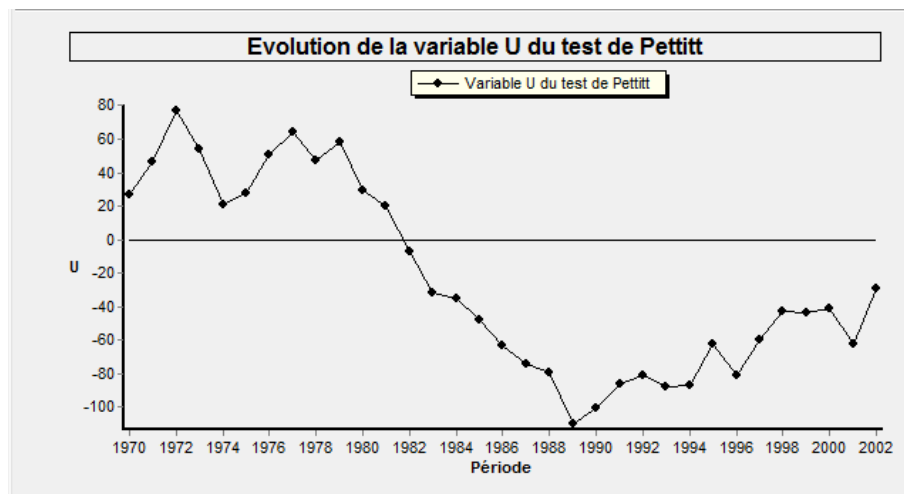
Le test de Pettit est un test non paramétrique. Il dérive du test de Man-Wihtney, il a été décrit par plusieurs auteurs (Pettit, 1979; Lubesetal., 1994; Lubes-Niels etal., 1998). Il permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique. Il se propose de tester l'hypothèse  $H_0$  « Absence de rupture dans la série (Xi) de taille N » face à l'hypothèse alternative  $H_a$  « Présence d'une rupture dans la séquence ». (El Ibrahim. Abdhamid et al ,2015)

#### Exemple



**Figure III.1.1.** Résultats du test de Pettitt de la station 150611

**Remarque :** Les 26 stations sont acceptées dans la méthode du test de Pettitt



**Figure III.1.2.** Résultat d'application de test de Pettitt à la série pluviométrique de la station 150611

### III.1.7.2. Test de segmentation d'Hubert (1989)

La procédure de segmentation de séries pluviométrique a été présentée par Hubert en 1989. Le principe de cette procédure est de diviser la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle manière que la moyenne calculée soit significativement différente de la moyenne du segment voisin... On détermine l'année de rupture, après analyse de la différence des moyennes après et avant de la rupture au Niveau de signification du test de Scheffel: 1%.

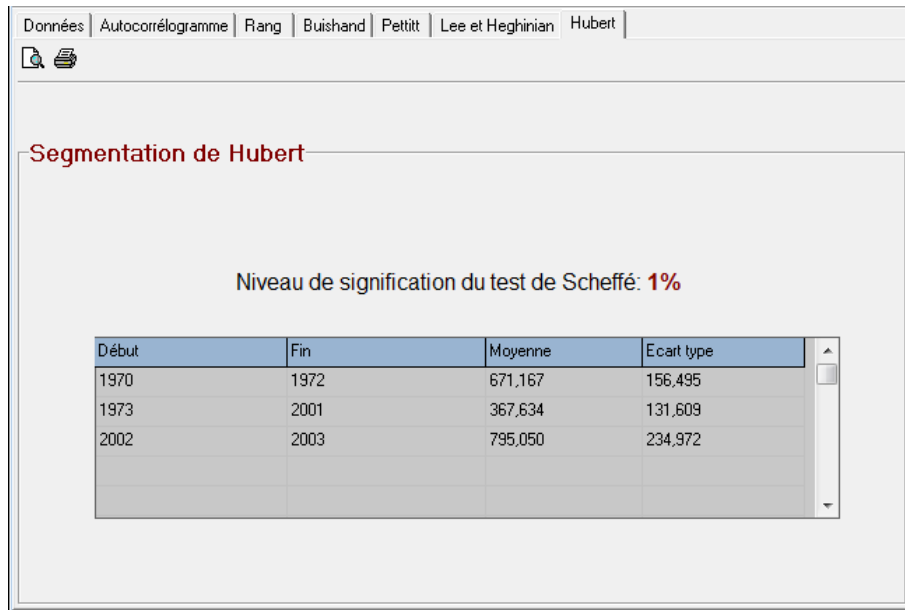


Figure III.1.3.Segmentation de Hubert de la station 150611

### III.1.7.3. Test de Buishand

La figure III.1.4 montre un ellipse de test de Buishand et leur l'intervalle de confiance pour la station 150611, on observe pour la station 150611 l'hypothèse nulle (absence de rupture) et accepté aux seuils de confiances de 90 %, 95% et de 99 %.

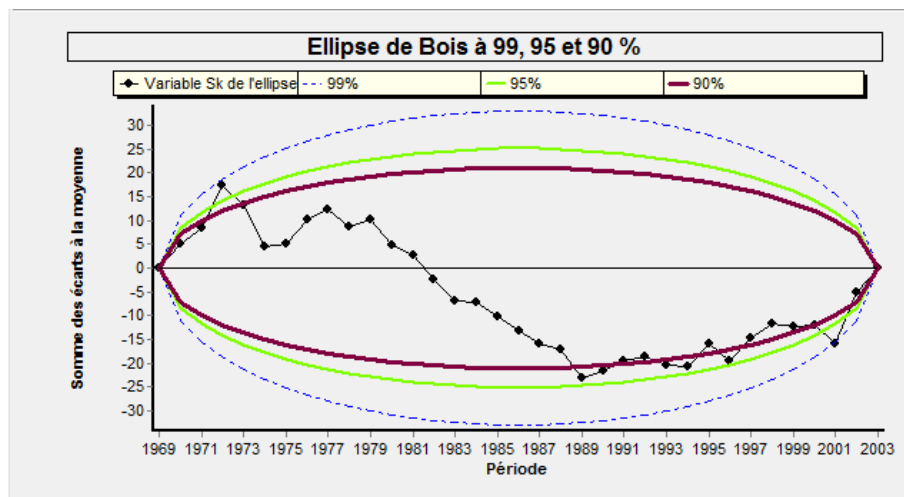


Figure III.1.4.Ellipse de Bois à 99, 95 et 90%

### III.1.7.4 Test de Normalité

Les données de la station 150611 selon le test de normalité sélectionné suivent une loi normale.

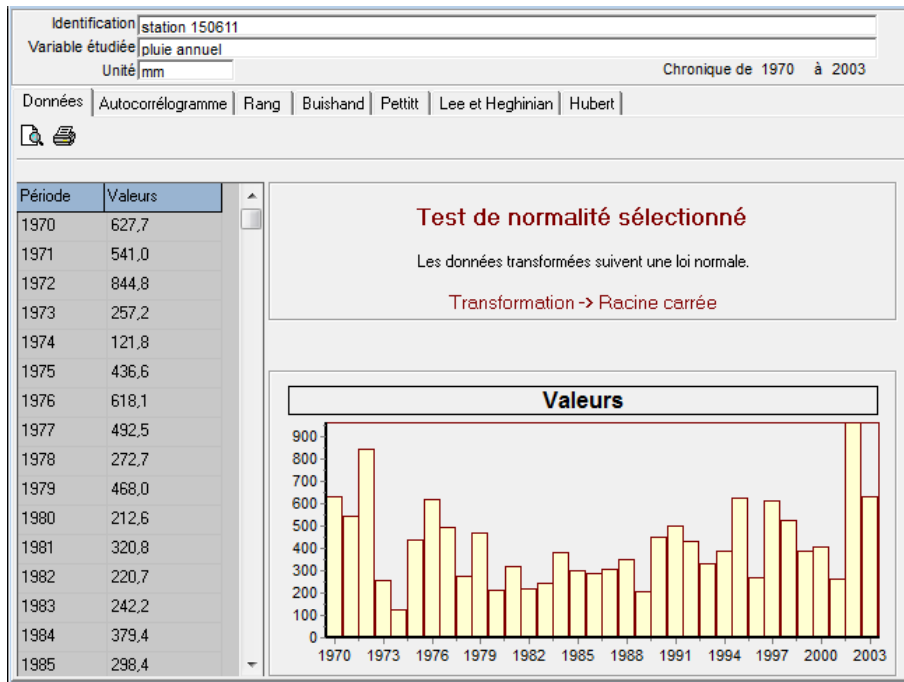


Figure III.1.5. Test de normalité sélectionné de la station 150611

III.1.7.5 test de Lee & Heghinian

D'après la figure III.1.6, dans la station 150611 le mode de la fonction densité de probabilité à posteriori de la position du point de rupture 0,4141 en 2001.

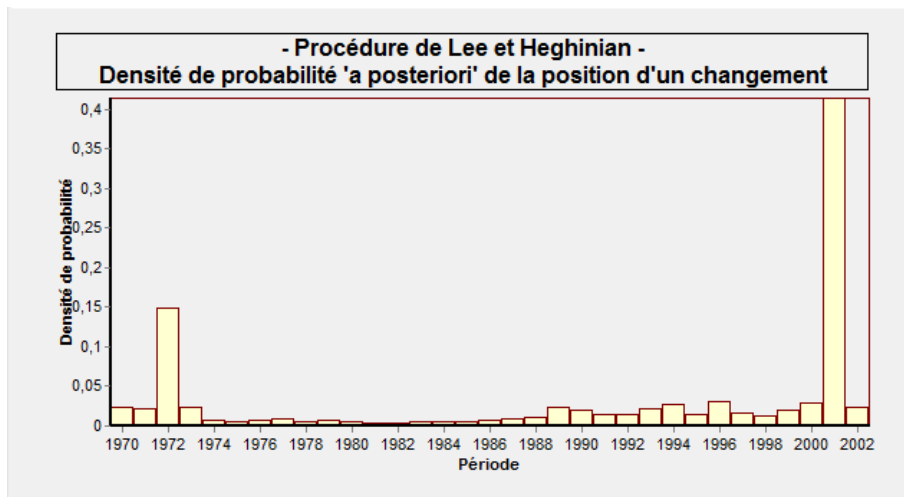


Figure III.1.5. Résultat d'application de test de Lee & Heghinian sur la série pluviométrique de la station 150611

### III.1.8. Représentation cartographique des données

La cartographie constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale de phénomène naturel. La cartographie numérique a été faite par l'utilisation des techniques et des outils de système d'information géographique (SIG).

#### III.1.8.1. Géostatistique

La géostatistique qui est une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel. **(Douaoui et al, 2006)**

Pour une étude géostatistique comprend deux phases ; la première est l'analyse spatiale de la variable étudiée grâce au variogramme (variographie). Et le second emploi une technique de prédiction spatiale utilisant comme outil le krigeage.

Pour l'ajustement du variogramme, on a utilisé le programme Variowine 2.2. Pour avoir le meilleur ajustement de la série de donnée considérée.

On joue sur les valeurs du pallier, de la portée et de l'effet de pépite pour déterminé la valeur la plus petite de l'indice IGF. (Indicative Goodness Fit) calculé automatiquement en prenant en compte les paramètres du variogramme (cas de programme VARIOWIN) .c'est un nombre sans unité indiquant un bon ajustement lorsqu'il est proche à zéro.

L'établissement des variogrammes en fonction de ces directions permet de déterminer le rapport d'anisotropie après leurs ajustements qui présente un paramètre important pour le krigeage.

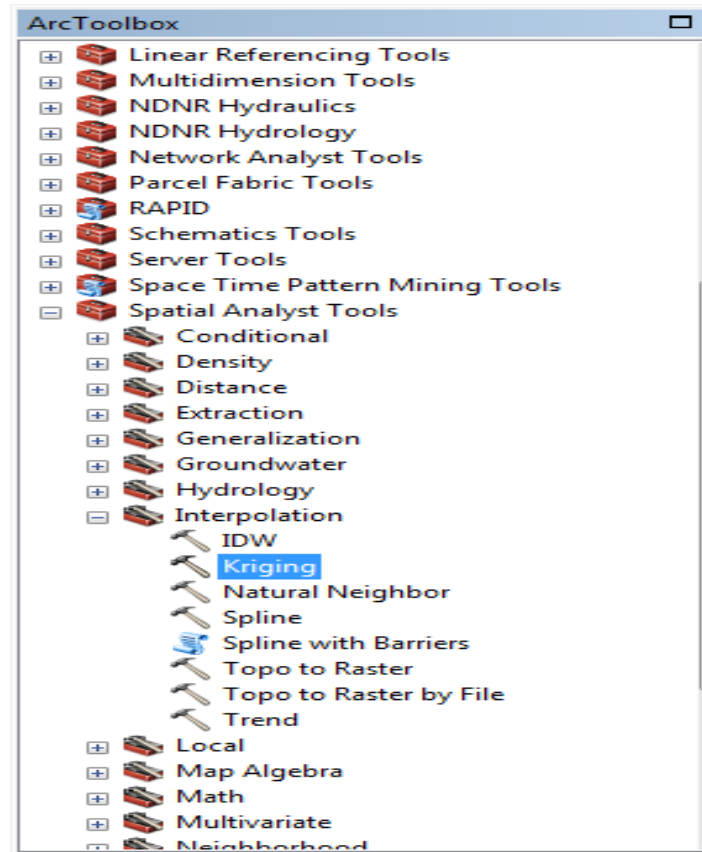
#### Le krigeage

Le krigeage est une méthode géostatistique qui permet l'estimation de valeurs locales en considérant l'organisation spatiale des variables étudiées. C'est donc une méthode d'interpolation qui peut générer des surfaces estimées à partir d'un échantillon de points géoréférencés. Ont été choisis de telle sorte à obtenir les différentes classes du pluviomètre correspondant. **(Rata M, 2010).**

Il existe plusieurs types de krigeage. Dans ce travail, nous avons appliqué le krigeage ordinaire à variogramme global pour la cartographie du pluviomètre.

Le krigeage ordinaire permet l'estimation d'une propriété un point quelconque de l'espace de coordonnées selon une combinaison linéaire des observations faites en des points voisins.

On a appliqué le krigeage ordinaire sur logiciel Arc GIS.



**Figure III.1.6.** Interface de fenêtre de la méthode krigage

### Arc GIS

Arc GIS est un logiciel permettant d'exploiter un Système d'Information Géographique (SIG). Un logiciel SIG permet l'acquisition, le stockage, la mise à jour, la manipulation, et le traitement de données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée.

Le principe directeur d'un SIG est le suivant : nous avons d'un côté les données géométriques et de l'autre les données attributaires. Ces données sont stockées sous format numérique et organisées par couches (appelées aussi « shapefiles » dans ArcGIS).

ArcGIS permet de :

- Créer, partager et utiliser des cartes intelligentes
- Rassembler les informations géographiques
- Créer et gérer des bases de données géographiques
- Résoudre des problèmes avec l'analyse spatiale
- Créer des applications basées sur la carte
- Communiquer et partager des informations grâce à la puissance de la géographie et de la visualisation.

## **III.2.2. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies**

### **III.2.1. Introduction**

Cette partie c'est le fruit du travail, vue qu'il présente l'application des modèles cités dans la partie précédent sur notre zone d'étude, et il illustre les différents résultats obtenues, il met également en valeurs les interprétations et les conclusions résultantes.

### **III.2.2. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelles**

La figure III.2.2.1 représente la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle intermensuelles. Nous avons déduit que l'appartenance des stations à leurs étages bioclimatiques respectifs ne traduit pas systématiquement l'importance de la variation. Les stations qui ont des fortes pluviométries sont situées au Nord du bassin, plus proche de la mer ou à des altitudes élevées. Le reste des stations qui sont situées loin de la mer (ver le Sud) présentent de faible pluviométries.

L'analyse des précipitations moyennes mensuelles de la période allant de 1970 à 2003 sont représentées à la figure III.2.2.1. De cette figure fait ressortir deux périodes distinctes : une période sèche qui correspond à la saison d'été représentée par les mois de juin, de juillet et d'aout, et une période humide qui correspond aux autres mois de l'année.

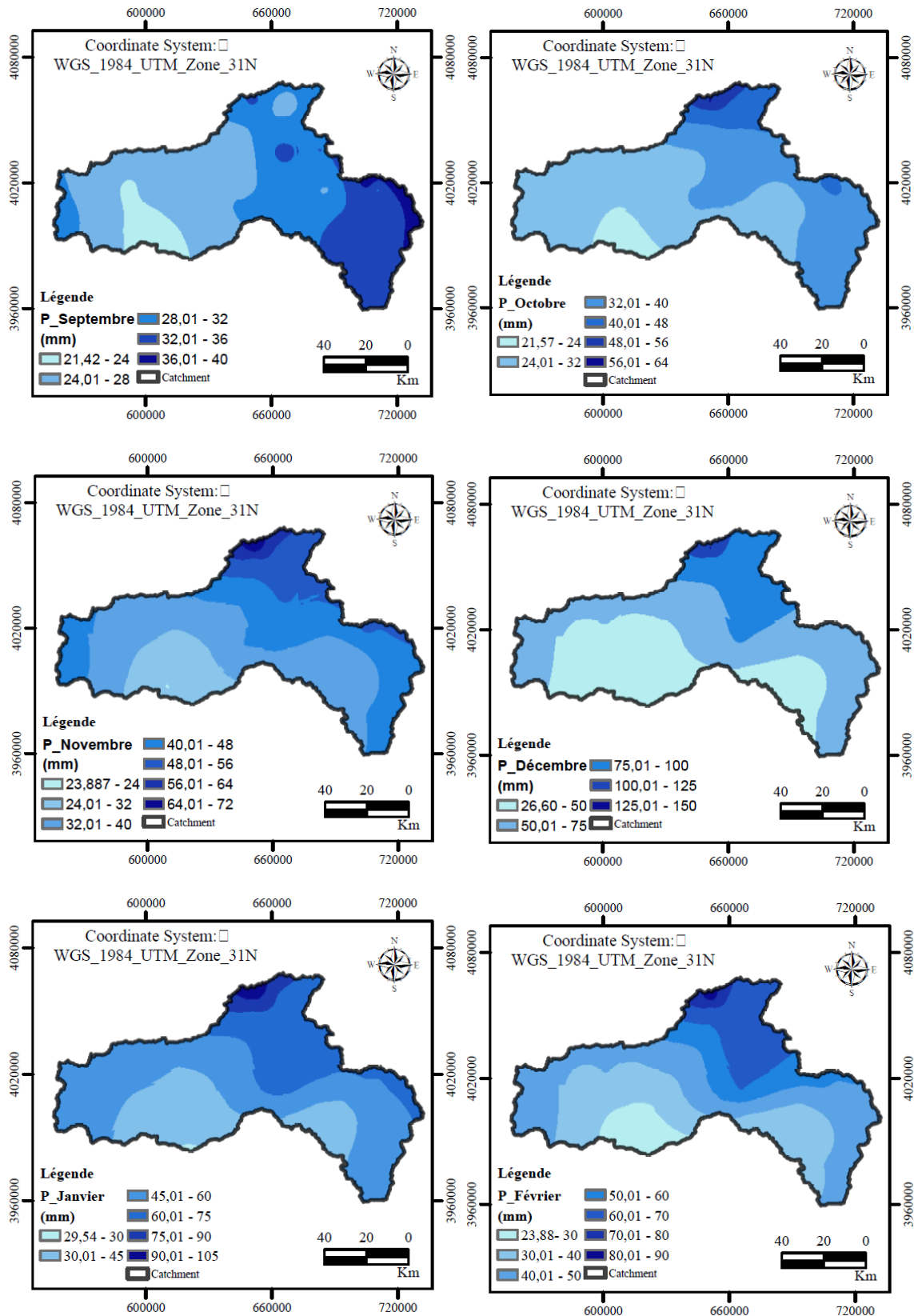


Figure III.2.2.1 Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échèle intermensuelles

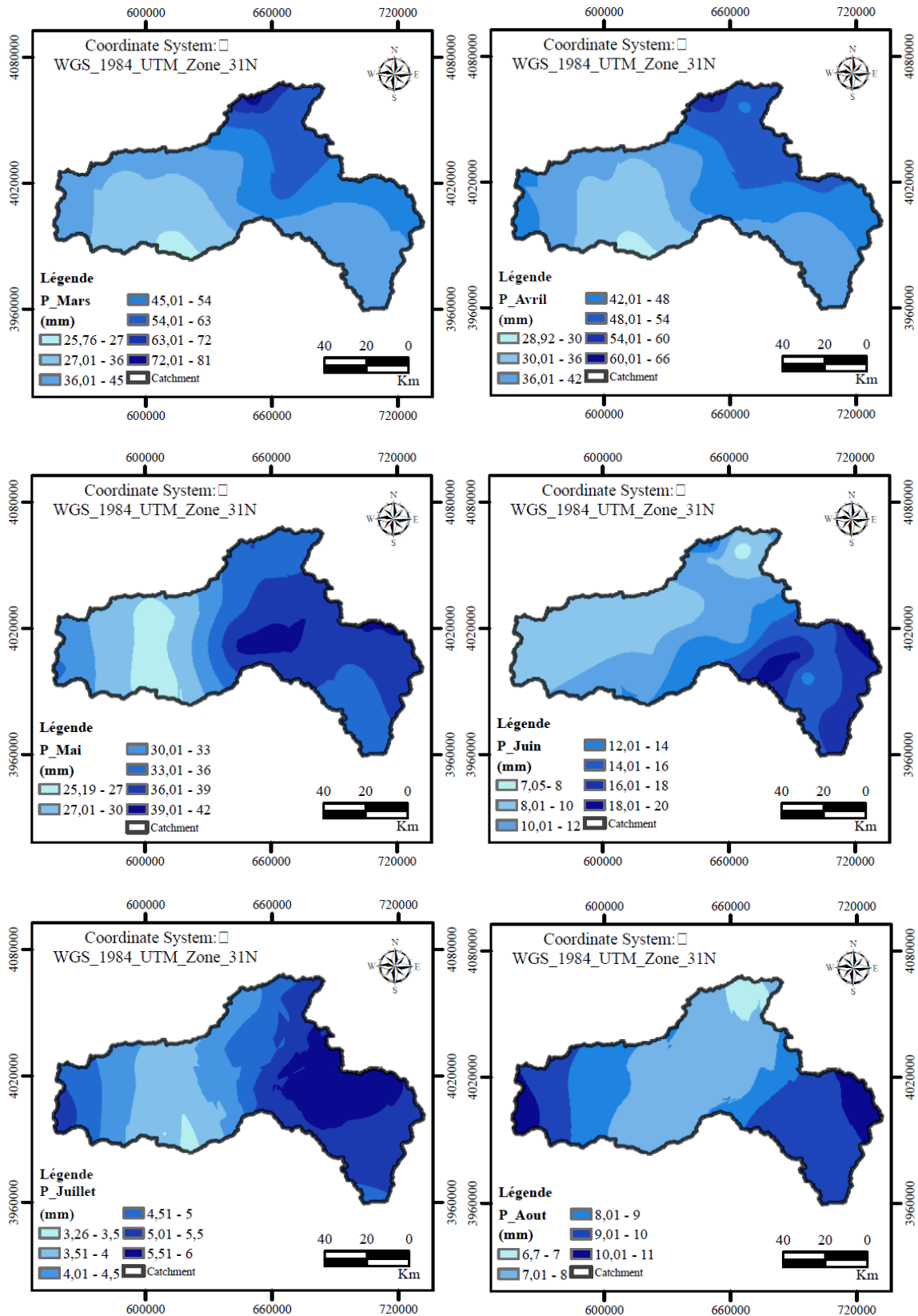
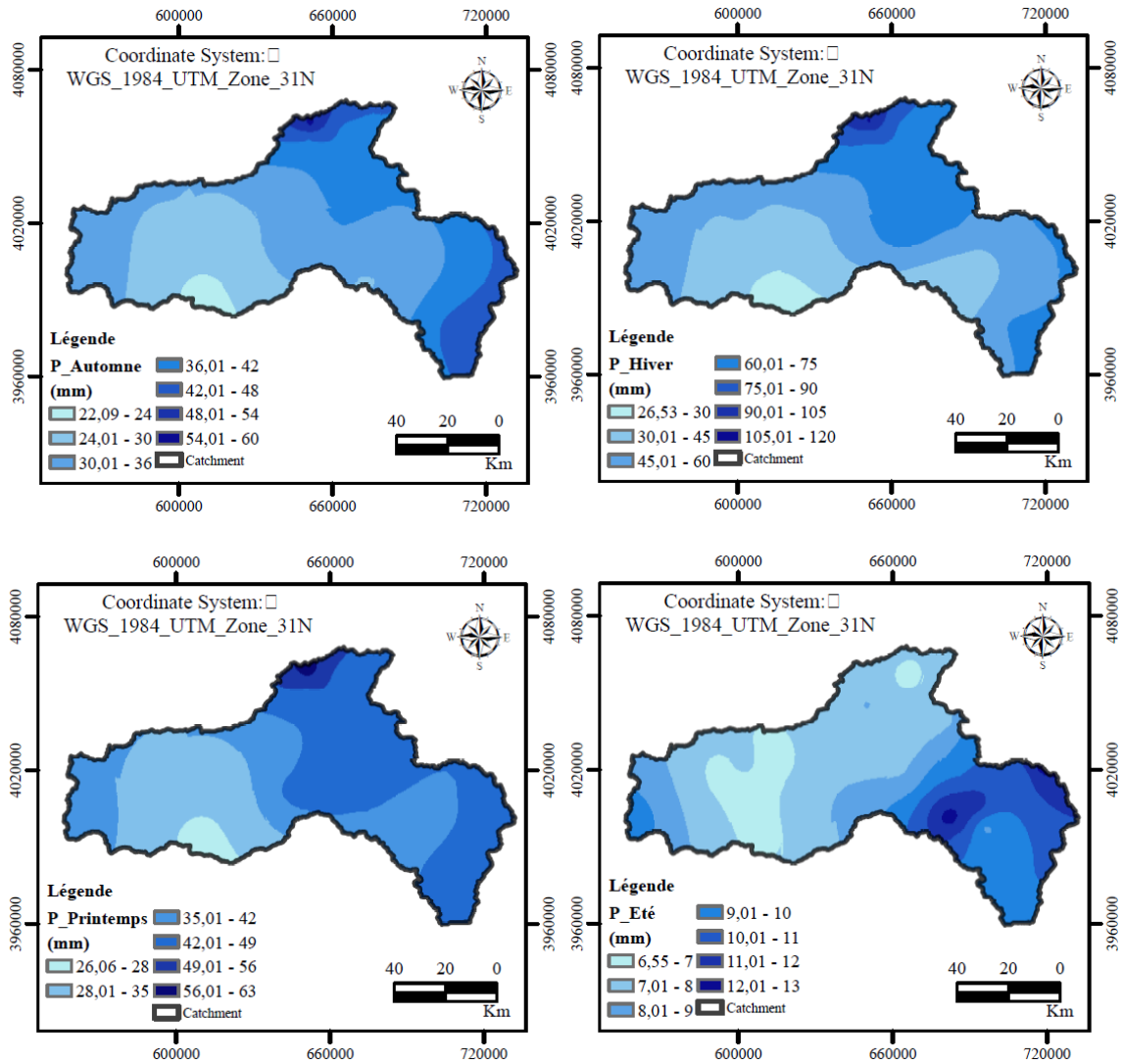


Figure III.2.2.1 Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle intermensuelles(suite)

**III.2.3. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle saisonnière**

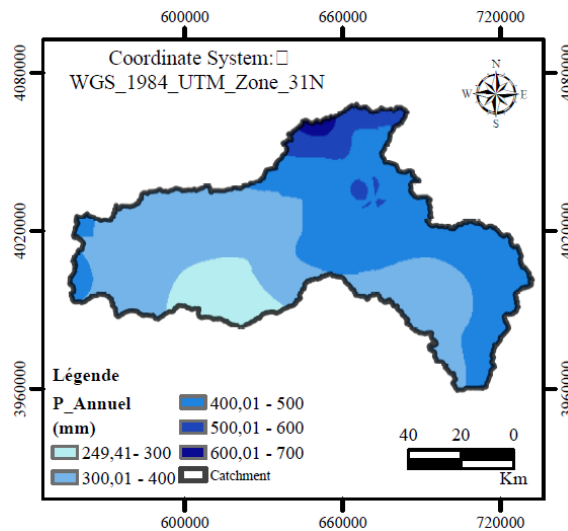
La figure III.2.2.2 représente la variabilité spatio-temporelle des précipitations moyennes saisonnières. On remarque les saisons très froides (automne pluie maximale est de 69.2 mm et à l'hiver la pluie maximale est de 127.9 mm) enregistrés les précipitations moyennes saisonnières le plus élevée dans le Nord et le Nord-est du bassin versant. Par contre les deux saisons (printemps, été) enregistré une faible précipitation au Sud- West de la région d'étude.



**Figure III.2.2.2.** Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle saisonnière

### III.2.4. Etude de la variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle interannuelle

La figure III.2.2.3 montre la variation spatio-temporelle des pluies interannuelles dans le bassin versant de la Soummam, on remarque que les pluies annuelles maximales se trouvent au nord et au Nord- West du bassin versant (dans les zones montagneuses), et les pluies annuelles minimales au Sud-est du bassin versant.



**Figure III.2.2.3.** Variabilité spatio-temporelle des pluies à l'échelle interannuelles

### III.2.5. Répartition temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelle

La figure III.2.2.4 représente la répartition temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelles aux stations pluviométriques. On remarque une variation des valeurs des précipitations dans les 12 mois. Le mois le plus pluvieux est le mois de décembre avec une pluie moyenne sur l'ensemble des 26 stations pluviométriques de 61.3 mm, et le mois le plus sèche c'est le mois d'aout de 8.4mm.

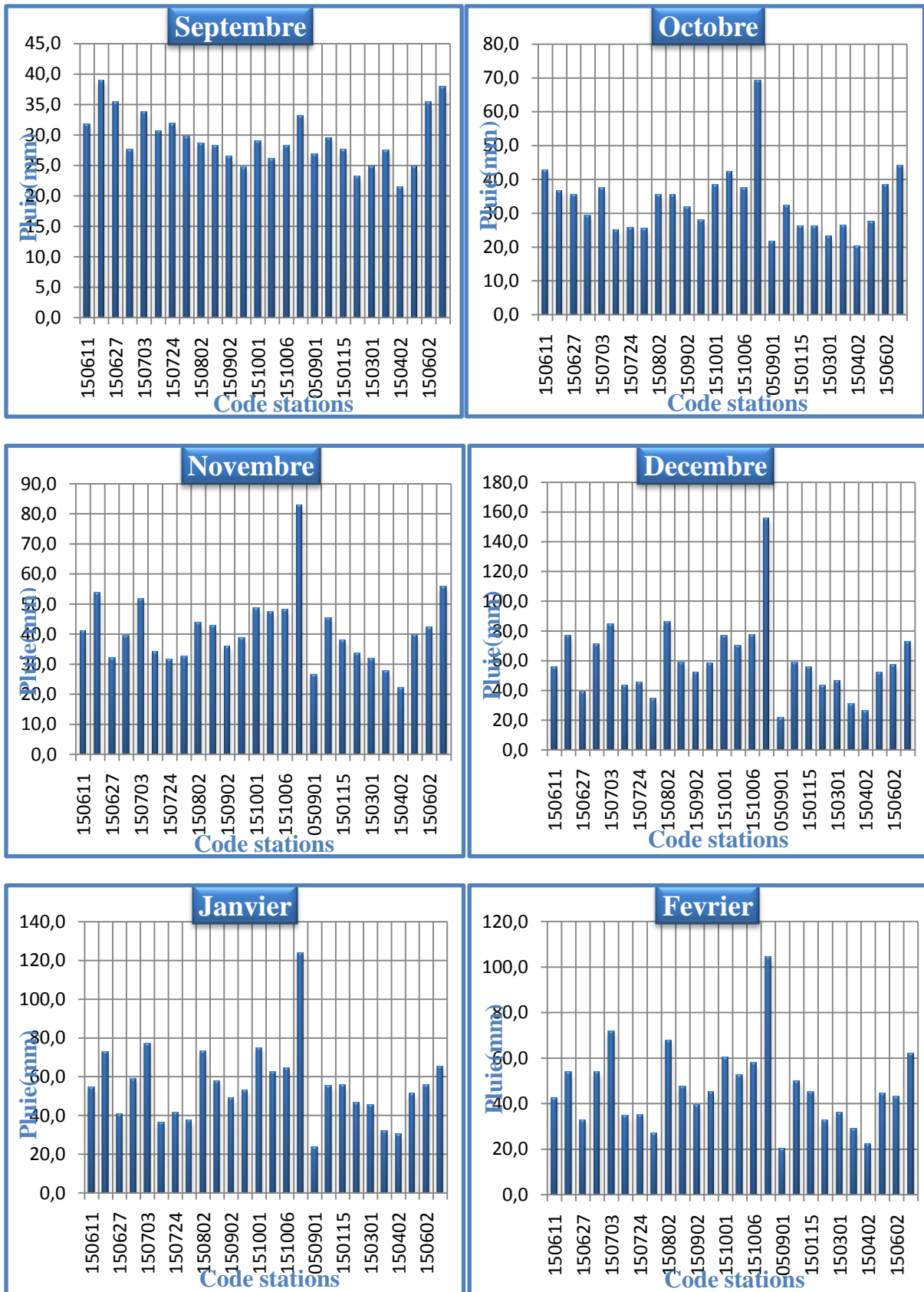


Figure III.2.2. Répartition temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelle

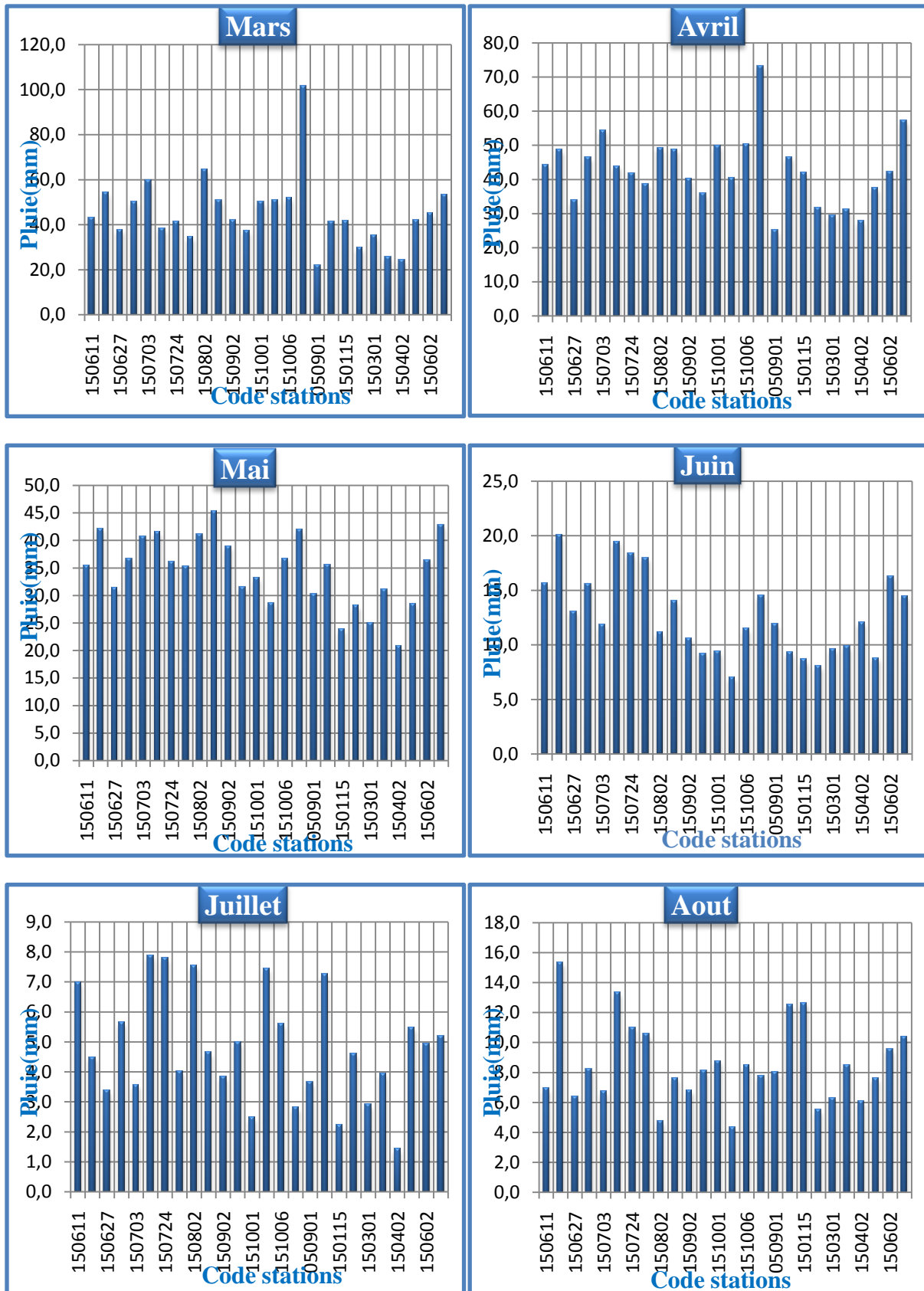


Figure III.2.2. Répartition temporelle des pluies à l'échelle inter mensuelle (suite)

### III.2.6. Répartition temporelle des pluies à l'échelle saisonnière

La figure III.2.2 représente une variation de précipitations moyennes saisonnières enregistrées dans la région étudiée sur 26 stations entre la période (1970-2003).

- On observe que la saison automne dans la station (151007) enregistré la précipitation moyenne la plus élevée atteinte (61,7mm), par contre la plus faible de précipitation de (21,2mm) dans la station (150402).
- La saison hiver dans la station (151007) enregistré la précipitation moyenne la plus élevée atteinte (127,9 mm) se trouve à Nord de la région, par contre la plus faible de précipitation de (21,6mm) dans la station (050915) se trouve à Sud de la région étudiée.
- La saison printemps dans la station (151007) enregistré la précipitation moyenne la plus élevée atteinte (72,2mm) et la plus faible de précipitation égale (24,3mm) dans la station (150402).
- La saison été dans la station (150707) enregistré la précipitation moyenne la plus élevée atteinte (13,6mm) se trouve à Est-Sud de la région, par contre la plus faible de précipitation de (6,1mm) dans la station (150204) se trouve à West de la région.

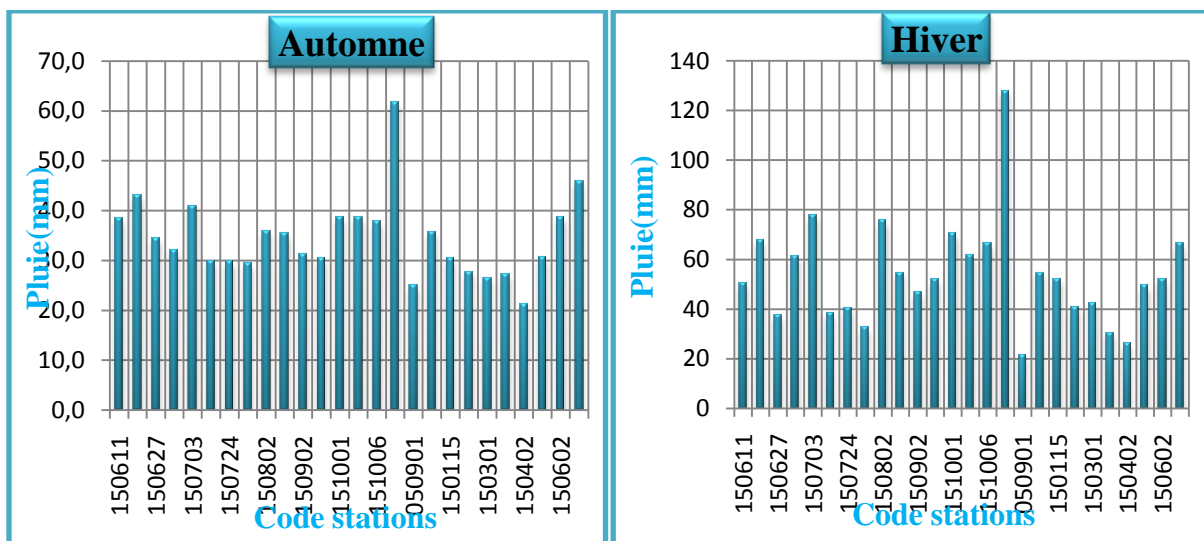


Figure III.2.2. Répartition temporelle des pluies à l'échelle saisonnière

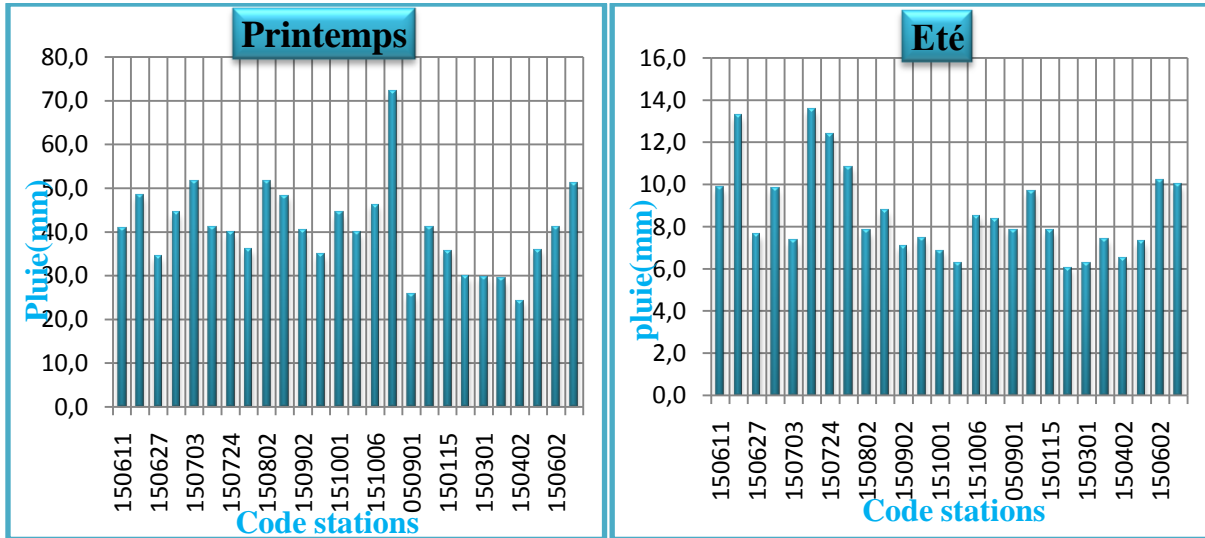


Figure III.2.2. Répartition temporelle des pluies à l'échelle saisonnière (suite)

### III.2.7. Répartition temporelle des pluies à l'échelle annuelle

La figure III.2.2.6 représente une variation de précipitations moyennes interannuelles dans la région étudiée entre la période (1970-2003). On observe que la distribution des pluies est très marquée spatialement dans la région Nord, est la station (151007) a enregistré la moyenne annuelle de précipitation la plus élevée qui atteint (802,8 mm), par contre la plus faible de précipitation est enregistrée à la station (150402) (234,5 mm) qui se trouve au Sud-ouest de zone d'étude.

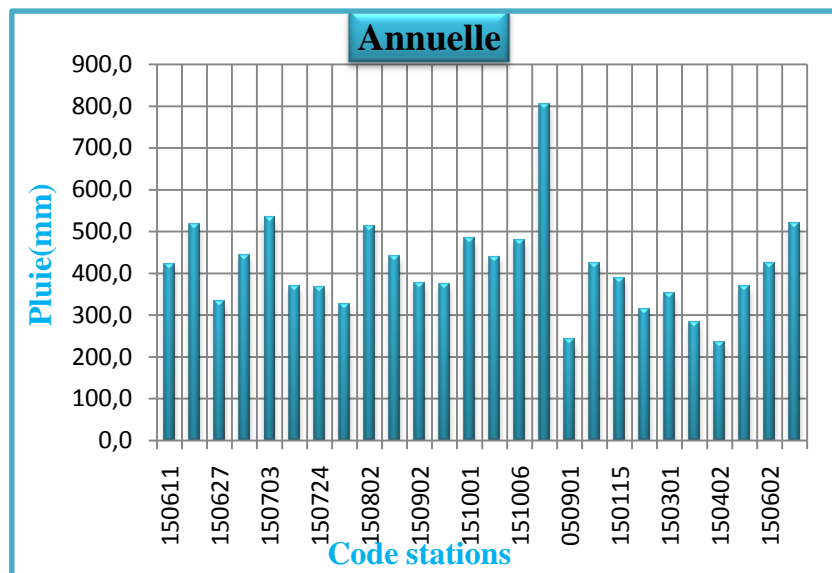


Figure III.2.2. Répartition temporelle des pluies à l'échelle annuelle

**Conclusion**

La première partie de ce chapitre a été consacré à la collecte de toutes les données descriptives de la zone d'étude et au traitement des données pluviométriques. Dans la seconde partie, des notions de base ont été présentées ce qui permettra d'appliquer les méthodes suggérées, les résultats de ces méthodes et leurs interprétations.

L'étude de la variabilité spatio-temporelle de pluies, réalisées sur une période de 34 ans sur l'ensemble du bassin versant de la Soummam, montre une hétérogénéité concernant leur répartition spatiale. Dans cette étude nous avons pu montrer que la répartition des pluies est influencée par l'altitude et éloignement de la mer.

**Chapitre VI.**

**Etude de la variabilité  
spatio-temporelle de l'indice  
SPI**

## Chapitre IV. Etude de la variabilité spatio-temporelle de l'indice de précipitation standardisé SPI

### IV.1.1. L'indice de précipitation standardisé (SPI)

L'indice standardisé des précipitations (SPI, Standardized precipitation index) mis au point par **McKee et al. (1993)** est, aussi, souvent utilisé, son calcul ne demande que de longues séries pluviométriques et il présente le grand avantage de fonctionner à diverses échelles de temps et de permettre des évaluations de la sécheresse à court, moyen, et long terme.

#### ✚ Formule de l'indice SPI :

L'expression est donnée par la formule suivante :

$$SPI_{12} = \frac{P_i - P_m}{\delta} \dots \dots \dots (1)$$

**P<sub>i</sub>**: Pluie de l'année *i*.

**P<sub>m</sub>**: Pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée.

**δ**: Ecart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

#### ✚ Classification des valeurs SPI :

Le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l'indice SPI définit l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice.

**Tableau IV.1.1.** Classement de la sévérité des sécheresses suivant l'Indice de précipitation Standardisé (**McKee et al 1993**)

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

#### ✚ Avantages de méthode SPI :

- L'indice SPI offre une bonne souplesse d'utilisation: il est possible de le calculer pour de multiples échelles de temps.

- Quand il porte sur un laps de temps relativement court, entre 1 et 3 mois par exemple, l'indice SPI permet de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité.
- L'indice SPI présente une bonne cohérence spatiale, ce qui permet d'établir des comparaisons entre des zones différentes soumises à des climats différents.
- Sa nature probabiliste le place dans un contexte historique, ce qui convient bien à la prise de décision.

#### ✚ Inconvénient de méthode SPI :

- L'indice SPI ne repose que sur les relevés de précipitations.
- Le bilan hydrique du sol n'étant pas pris en compte, l'indice ne permet pas le calcul du rapport évapotranspiration/évapotranspiration potentielle (ET/ETP).

Grâce à une variante de l'indice qu'ils ont mis au point, **Vicente-Serrano et al. (2010)** tentent de régler le problème mentionné ci-dessus en prenant en compte la température dans les calculs du nouvel indice qu'ils nomment indice de précipitations et d'évapotranspiration normalisé (SPEI).

### IV.1.2. Analyse en composante principale ACP

#### ✚ Définition

La méthode d'analyse en composantes principales consiste à transformer des variables liées entre elles (dites "corrélées" en statistique) en nouvelles variables indépendantes les unes des autres (donc "non corrélées"). Ces nouvelles variables sont appelées "composantes principales", ou axes. Elle permet au praticien de diminuer l'information en un nombre de composantes plus limité que le nombre d'origine de variables.

Il s'agit d'une approche à la fois géométrique (représentation des variables dans un nouvel espace géométrique selon des directions d'inertie maximale) et statistique (recherche d'axes indépendants expliquant au mieux la variabilité - la variance - des données).

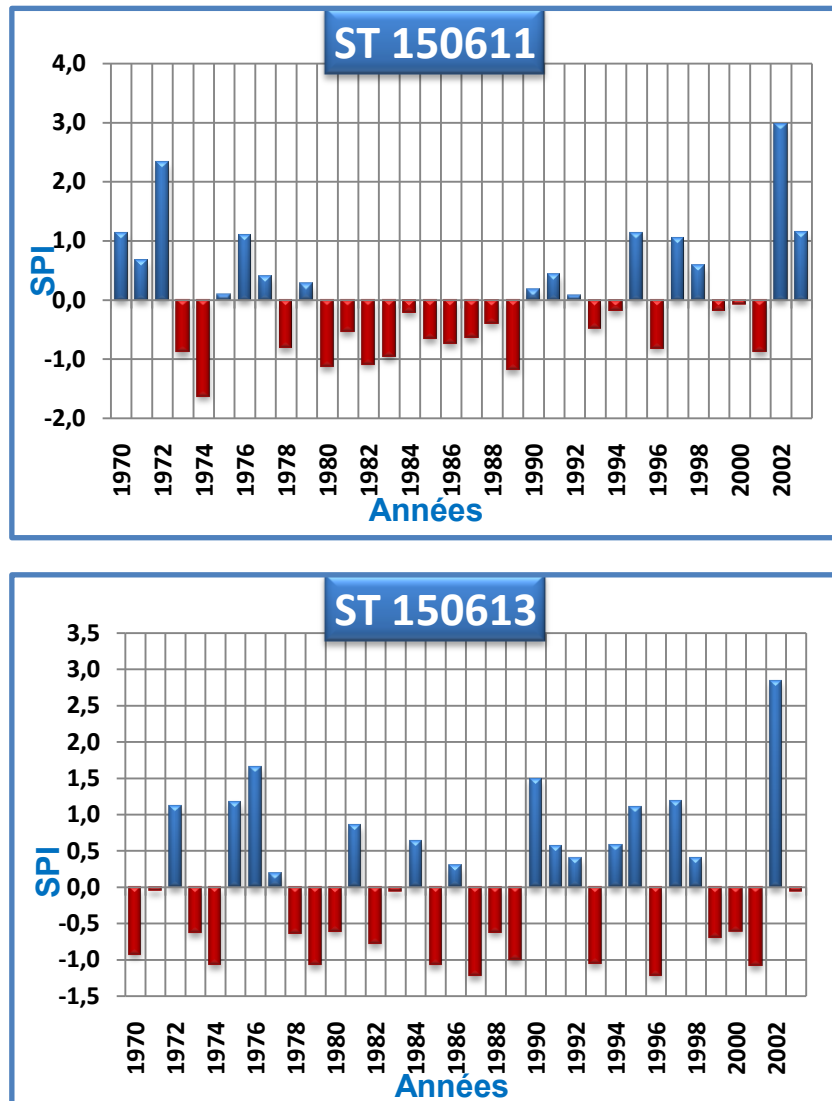
#### ✚ Principe de la méthode

La matrice de données est formée par des lignes, qui correspondent aux sites de mesure (stations) et des colonnes, qui contiennent les caractéristiques ou variables de mesure (valeurs des SPI). Ces variables doivent représenter de la meilleure manière possible le phénomène étudié (Obled, 1979). Le principe de ce procédé se fonde sur l'idée que les  $p$  variables quantitatives de cette matrice de données peuvent être représentées en un espace de  $p$  dimensions ; bien évidemment, il n'est possible ni de créer ni de visualiser cet espace. L'ACP

permet alors de trouver les espaces visibles, avec des dimensions plus petites, où les variables utilisées peuvent facilement être visualisées.

**IV.2.1 Etude de la variabilité du SPI**

L'évolution de l'indice de précipitation standardisé (SPI), indique une variabilité temporelle de précipitation. Cette variabilité caractérisée par une alternance des phases humides, proche de normal et sèches pour les différentes stations. Les résultats sont résumés dans les histogrammes suivants:



**Figure IV.1** Classification des valeurs des SPI

Les autres classifications des valeurs SPI sont trouvées dans l'annexe 2

❖ **Interprétation**

Une évaluation des pourcentages des années sèches et d'années humides a été effectuée pour chaque poste pluviométrique, les résultats sont résumés dans le tableau IV.2.1.

**Tableau IV.2.1.** Classification des indices SPI

Valeur SPI	Couleur	Désignation
2,0 et plus		Extrêmement humide
de 1,5 à 1,99		Très humide
de 1,0 à 1,49		Modérément humide
de -0,99 à 0,99		Proche de la normale
de -1,0 à -1,49		Modérément sec
de -1,5 à -1,99		Très sec
-2.0 et moins		Extrêmement sec

**Tableau IV.2.2.** Taux d'années sèches et d'années humides pour chaque station sur une période de 34 ans

	150611	150613	150627	150702	150703	150707	150724	150801	150802	150807	150902	150904	151001
Extrêmement humide	5,9	2,9	5,9	5,9	5,9	2,9	5,9	5,9	5,9	2,9	5,9	2,9	0
Très humide	0	5,9	0	0	0	2,9	2,9	5,9	2,9	2,9	2,9	8,8	5,9
Modérément humide	17,7	11,8	8,8	8,8	5,9	14,7	8,8	2,9	2,9	11,8	5,9	5,9	5,9
Proche de la normale	61,8	55,9	70,6	70,6	73,5	64,8	70,6	61,8	64,8	61,8	64,7	73,6	73,5
Modérément sec	11,7	17,6	11,8	11,8	8,8	8,8	5,9	17,6	14,7	17,7	14,7	8,8	11,8
Très sec	2,9	5,9	2,9	0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	2,9	5,9	0	0
Extrêmement sec	0	0	0	2,9	0	0	0	0	2,9	0	0	0	2,9

**Tableau IV.2.2.(Suite)** Taux d'années sèches et d'années humides pour chaque station sur une période de 34 ans

	151004	151006	151007	50901	150101	150115	150204	150301	150401	150402	150501	150602	150708
Extrêmement humide	0	2,9	2,9	5,9	2,9	0	0	0	2,9	5,9	5,9	8,8	2,9
Très humide	8,8	2,9	5,9	2,9	2,9	8,8	8,8	5,9	11,7	5,9	5,9	0	8,8
Modérément humide	8,8	17,6	8,8	5,9	20,7	2,9	8,8	14,6	0	5,9	2,9	2,9	2,9
Proche de la normale	64,8	58,9	64,8	73,6	52,9	70,7	58,9	58,9	67,8	61,8	58,8	70,7	67,7
Modérément sec	11,8	5,9	11,8	2,9	11,8	5,9	17,7	11,8	14,7	17,6	20,6	17,6	11,8
Très sec	2,9	11,8	2,9	8,8	8,8	8,8	2,9	5,9	2,9	2,9	5,9	0	5,9
Extrêmement sec	2,9	0	2,9	0	0	2,9	2,9	2,9	0	0	0	0	0

Il ressort des résultats du tableau IV.2.1 et des graphes de la figure IV.2 que les valeurs positives des SPI donnent des épisodes humides et les valeurs négatives donnent des épisodes secs.

Les classes humide et sèche sont composées de 3 sous classes : modérément humide, très humide et extrêmement humide pour la classe humide ; et modérément sec, très sec, et extrêmement sec pour la classe sèche.

✚ **Classe humide :**

**Classe extrêmement humide (EH) :** 2,0 et plus

La fréquence est égale à 8,8% dans la majorité de postes pluviométrique (150602) et autre postes elles prennent la valeur de 5,9 %, 2,9% et 0%.

**Classe très humide (TH) :** de 1,5 à 1,99

La fréquence d'apparition maximale est de 11,7% et la fréquence minimale est de 0%.

**Classe modérément humide (MH) :** de 1,0 à 1,49

La fréquence d'apparition maximale est égale à 20,7% elle est enregistrée aux postes pluviométrique (150101). La fréquence minimale est égale 0%, elle est enregistrée dans aux poste (150401).

✚ **Classe normale (PN) :** de -0,99 à 0,99

Les fréquences de cette classe prennent le dessus sur les fréquences de toutes les autres classes, les valeurs sont comprises dans l'intervalle  $55,9 < F < 73,6$ .

✚ **Classes sèche :**

**Classe modérément sec (MS) :** de -1,0 à -1,49

La fréquence d'apparition maximale est égale à 20,6%, elle est observée au poste pluviométrique (150501) et la fréquence minimale est de 2,9% elle est observée au poste pluviométrique (050901).

**Classe très sec (TS) :** de -1,5 à -1,99

La majorité des postes pluviométriques prennent la valeur de 5,9%, la valeur maximale est de 11,8% est enregistrée au poste (151006) et la valeur minimale est égale à 0% elle est enregistrée aux postes (150602), (151001), (150901) et (150702).

**Classe extrêmement sec (ES) :** -2,0 et moins

La fréquence maximale d'apparition est égale à 2,9% elle est enregistré aux postes (150204), (150301), (150115), (151007), (150702), (150802), (151001) et (151004). Pour le reste des postes pluviométriques la fréquence est nulle.

❖ Détermination des années sèches et des années humides

Pour déterminer et différencier les années sèches des années humides on trace le tableau IV.2.3 qui représente la répartition des SPI annuels.

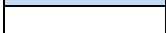
**Tableau IV.2.3.**Répartition annuelle des SPI

	150611	150613	150627	150702	150703	150707	150724	150801	150802	150807	150902	150904	151001
1970													
1971													
1972													
1973													
1974													
1975													
1976													
1977													
1978													
1979													
1980													
1981													
1982													
1983													
1984													
1985													
1986													
1987													
1988													
1989													
1990													
1991													
1992													
1993													
1994													
1995													
1996													
1997													
1998													
1999													
2000													
2001													
2002													
2003													

Tableau IV.2.3. Répartition annuelle des SPI(Suite)

	151004	151006	151007	50901	150101	150115	150204	150301	150401	150402	150501	150602	150708
1970				Extrêmement humide	Très humide		Modérément humide	Modérément humide		Modérément humide	Modérément humide		
1971		Très humide	Très humide	Très humide									Extrêmement humide
1972	Très humide	Modérément humide	Modérément humide	Extrêmement humide	Modérément humide	Très humide	Très humide	Très humide	Très humide	Extrêmement humide	Extrêmement humide	Extrêmement humide	Modérément humide
1973			Extrêmement humide										
1974		Modérément sec										Modérément sec	
1975		Modérément humide			Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément humide	Très humide
1976	Très sec											Extrêmement humide	
1977											Modérément sec		
1978				Modérément sec							Modérément sec		
1979		Très sec	Très sec										
1980					Modérément humide	Très humide	Très humide	Très humide	Extrêmement humide	Extrêmement humide	Extrêmement humide		
1981					Très sec		Modérément sec		Modérément sec	Modérément sec	Très sec		
1982	Modérément sec					Très humide		Modérément humide	Très humide	Très humide	Très humide		
1983				Très sec	Très sec		Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec		Très sec
1984	Modérément humide												
1985													
1986			Modérément humide										
1987			Modérément sec				Modérément sec					Modérément sec	Modérément sec
1988					Modérément humide								
1989	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec									Modérément sec	
1990	Extrêmement sec				Modérément humide								
1991	Très humide				Très sec	Très sec	Très sec	Très sec		Modérément sec	Modérément sec		
1992					Modérément sec	Très sec		Modérément sec	Très sec	Modérément sec	Modérément sec		
1993		Très sec	Modérément sec		Modérément humide				Modérément sec			Modérément sec	Modérément sec
1994		Modérément humide		Modérément humide	Modérément humide		Modérément humide	Modérément humide	Très humide	Modérément humide			
1995		Modérément humide			Modérément sec	Très sec	Modérément sec	Très sec		Modérément sec	Très sec		
1996	Modérément sec	Très sec										Modérément sec	Modérément sec
1997	Modérément humide	Modérément humide	Modérément humide										Très humide
1998				Très sec	Modérément sec	Extrêmement sec	Extrêmement sec	Extrêmement sec	Modérément sec	Très sec	Modérément sec		
1999			Modérément sec	Modérément humide									
2000				Très sec		Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec					Modérément sec
2001	Modérément sec	Très sec	Extrêmement sec		Modérément humide							Modérément sec	Très sec
2002	Très humide	Extrêmement humide	Très humide		Extrêmement humide		Très humide	Modérément humide	Très humide	Très humide	Très humide	Extrêmement humide	Très humide
2003	Modérément humide	Modérément humide				Modérément humide	Modérément humide	Modérément humide					

Légende :

	Extrêmement humide		Modérément sec
	Très humide		Très sec
	Modérément humide		Extrêmement sec
	Proche de la normale		

En analysant le tableau IV.2.3 on constate une prédominance de la classe proche de la normale, afin de juger si une année est considéré comme étant sèche ou humide on calcule le nombre de stations humide et le nombre de stations sèches, les années où la majorité des stations comportent des épisodes normaux sont considérées comme normales.

Le tableau IV.2.4 résume les résultats de toute la période d'étude.

En analysant les résultats du tableau IV.2.4 on constate que la zone d'étude est caractérisée par plus d'années normales que sèches et humide.

**Tableau IV.2.4.**Années normales, humides et sèches pour chaque station

Années	Nbr de stations normales	Nbr de stations humides	Nbr de stations sèches
1970	17	7	2
1971	16	10	0
1972	3	23	0
1973	24	2	0
1974	18	0	8
1975	8	11	7
1976	20	4	2
1977	25	0	1
1978	21	0	5
1979	22	0	4
1980	16	9	1
1981	19	2	5
1982	18	5	3
1983	15	0	11
1984	24	1	1
1985	25	0	1
1986	24	2	0
1987	16	0	10
1988	23	1	2
1989	16	0	10
1990	22	2	2
1991	16	4	6
1992	19	0	7
1993	11	1	14
1994	19	7	0
1995	13	6	7
1996	12	0	14
1997	15	11	0
1998	18	0	8
1999	20	1	5
2000	19	0	7
2001	9	1	16
2002	2	24	0
2003	12	14	0

- **Les années normales :**

Les années 1977 et 1985 sont normales avec 25 stations normales.

L'année 2002 est normale avec deux stations normales.

- **Les années humides :**

On enregistre uniquement deux années humides 1972 avec 23 stations humides et 2002 avec 24 stations humides.

- **Les années sèches :**

On enregistre les années 1993 ,1996 avec 14 stations sèches et l'année 2001 avec 16 stations sèches.

### IV.2.2. Analyse en composante principales

En vue d'étudier la régionalisation de la sécheresse dans la zone d'étude, une analyse en composantes principales avec rotation (ACP) a été appliquée sur les SPI annuels calculés pour la période (1970-2003) pour les 26 stations considérées. Cela a été fait par le logiciel Xlstat.

- **Résultats et interprétations :**

- L'analyse en composante principales a permis de regrouper tous les résultats du calcul de l'indice standardisé de précipitation SPI et d'en construire une matrice afin de réduire les informations et d'en prendre que les plus importantes. Le tableau IV.2.2.1 et la figure IV.2.2.1 représente le pourcentage de variance obtenue pour chaque composante.

**Tableau IV.2.2.1.** Pourcentage de la variance de l'A.C.P

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	12.650	6.464	1.513	0.861	0.816
Variabilité (%)	48.653	24.860	5.819	3.311	3.137
% cumulé	48.653	73.513	79.333	82.644	85.781

D'après les résultats obtenus du tableau IV.2.2.1, il est à constater que les deux (02) premières composantes expliquent le maximum d'informations (73.51% de la variance totale), avec 48.65% pour la première composante, 24.86 % pour la seconde mais à partir de la troisième composante, l'information expliquée devient faible. Donc, les deux premières composantes seront retenues.

**Tableau IV.2.2.2. Vecteurs propres**

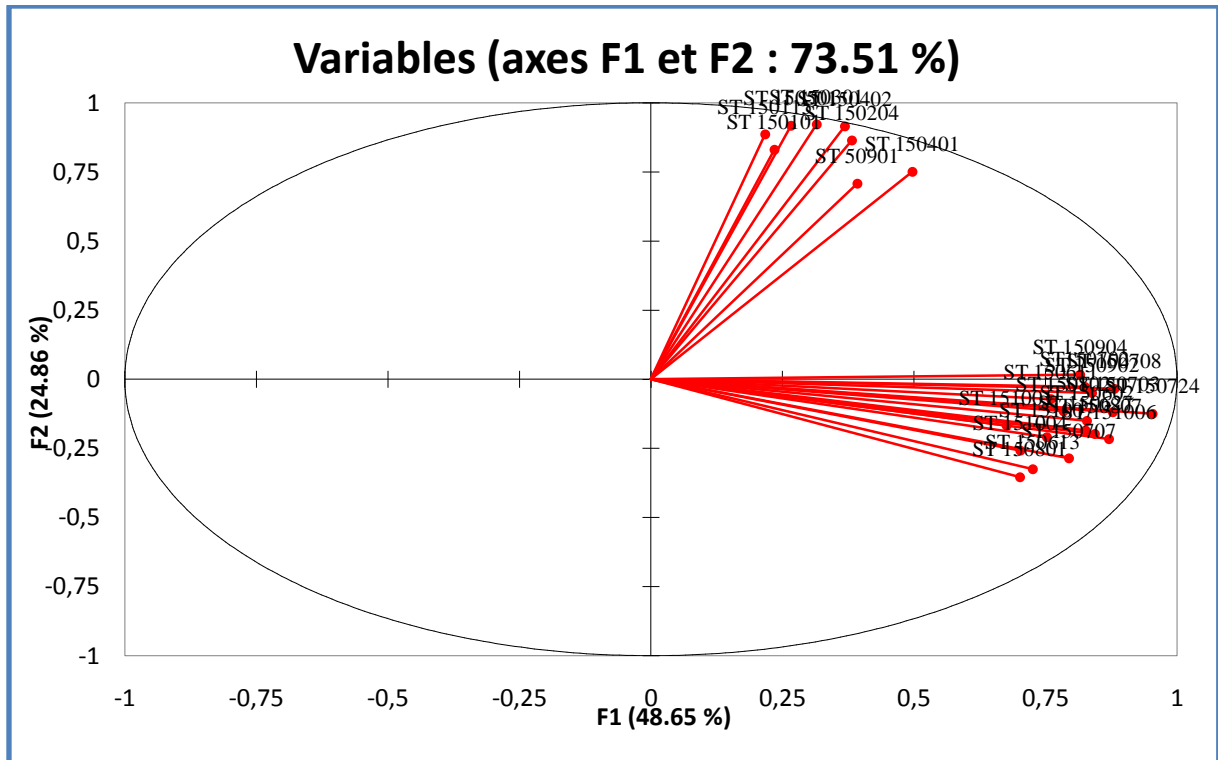
	F1	F2	F3
ST 150611	0.214	-0.028	0.451
ST 150613	0.204	-0.128	0.350
ST 150627	0.232	-0.073	0.421
ST150702	0.232	-0.011	-0.122
ST 150703	0.247	-0.047	-0.134
ST 150707	0.223	-0.112	-0.049
ST 150724	0.268	-0.049	-0.106
ST 150801	0.197	-0.139	-0.050
ST 150802	0.220	-0.045	-0.156
ST 150807	0.237	-0.078	-0.059
ST 150902	0.236	-0.019	0.050
ST 150904	0.229	0.006	0.009
ST 151001	0.190	-0.066	-0.199
ST 151004	0.197	-0.101	-0.283
ST 151006	0.245	-0.085	-0.169
ST 151007	0.211	-0.082	-0.197
ST 50901	0.110	0.278	-0.019
ST 150101	0.066	0.327	0.249
ST 150115	0.061	0.349	-0.108
ST 150204	0.107	0.340	0.031
ST 150301	0.088	0.363	-0.041
ST 150401	0.140	0.295	-0.139
ST 150402	0.104	0.360	-0.036
ST 150501	0.075	0.361	0.054
ST 150602	0.233	-0.059	0.355
ST 150708	0.248	-0.014	-0.062

**Corrélation entre les variables et les axes principaux F1 et F2.**

Le tableau IV.2.2.3 résume les différents coefficients de corrélations pour les deux composantes principales F1 et F2. et la figure IV représente la représentation de ces variables sur un plan F1\*F2.

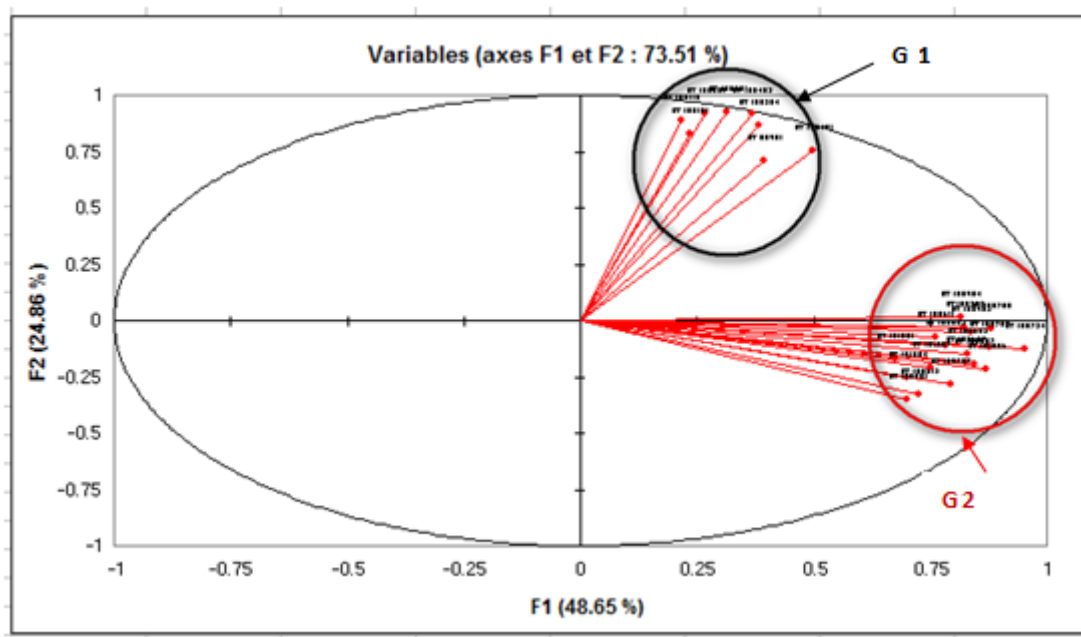
**Tableau IV.2.2.3** .Corrélations entre les variables et les facteurs

	F1	F2
ST 150611	0.760	-0.072
ST 150613	0.726	-0.325
ST 150627	0.826	-0.184
ST150702	0.825	-0.027
ST 150703	0.877	-0.118
ST 150707	0.794	-0.285
ST 150724	0.953	-0.125
ST 150801	0.701	-0.353
ST 150802	0.784	-0.115
ST 150807	0.844	-0.197
ST 150902	0.838	-0.050
ST 150904	0.816	0.016
ST 151001	0.675	-0.168
ST 151004	0.702	-0.257
ST 151006	0.871	-0.216
ST 151007	0.752	-0.209
ST 050901	0.392	0.708
ST 150101	0.234	0.831
ST 150115	0.217	0.887
ST 150204	0.382	0.864
ST 150301	0.315	0.922
ST 150401	0.497	0.751
ST 150402	0.368	0.915
ST 150501	0.266	0.918
ST 150602	0.829	-0.150
ST 150708	0.881	-0.035



**Figure IV.2.** Projection des variables sur un plan F1\*F2

L'observation de la figure IV.03 mène à conclure l'existence de deux groupes de station ayant les même caractéristiques, le premier groupe est situé au premier quadrant du cercle et le second groupe situé au deuxième quadrant (Figure IV.04).

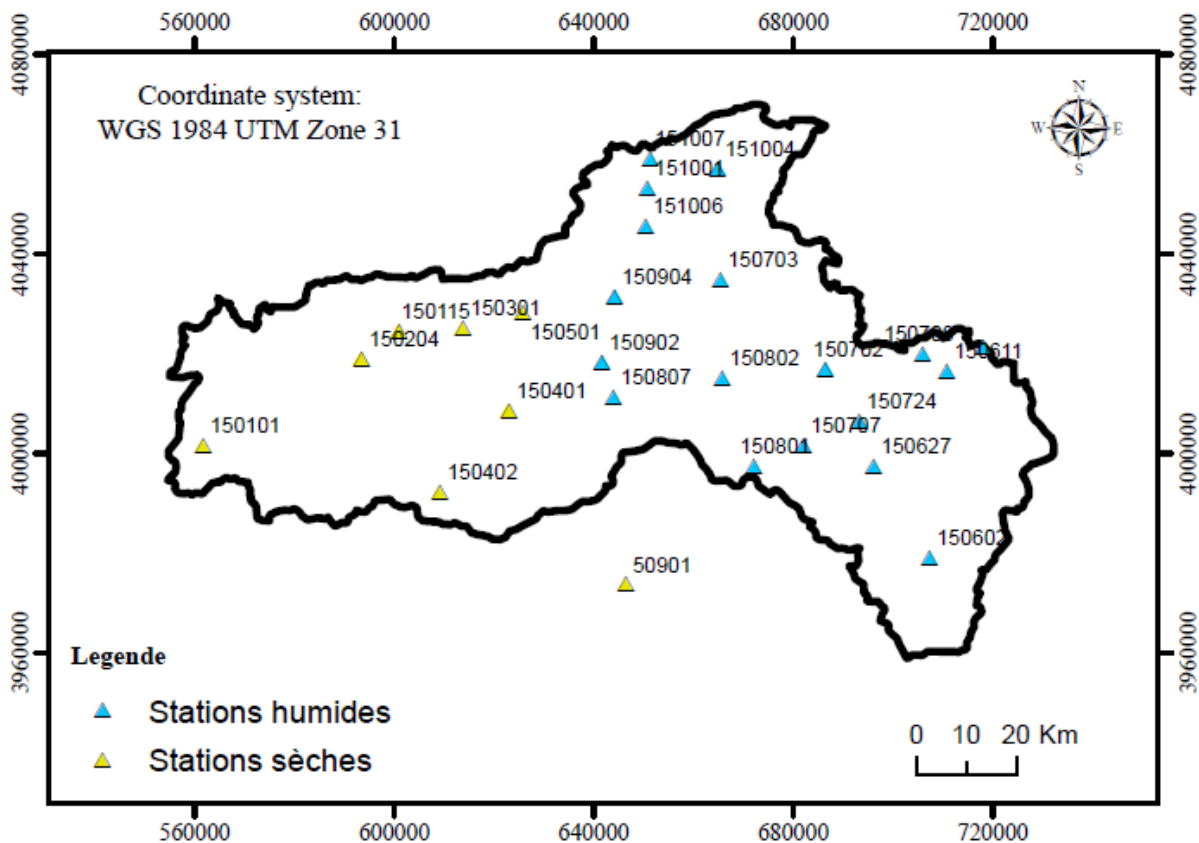


**Figure IV.3.** Représentations des deux groupes de stations

Toutes les stations du premier groupe (150101, 150115, 150301, 150204, 150401, 150402, 150501 et 050901) sont situées au Nord-ouest du bassin versant, les stations du second groupe (150602, 150613, 150611, 150627, 150702, 150703, 150707, 150708, 150724, 150801, 150802, 150807, 150902, 150904, 151001, 151004, 151006, 151007,) sont situées au Nord-est du bassin versant.

D'après ces résultats, deux régions ont été constaté : la première est constituée des stations situées dans la partie Nord-ouest de la région d'étude et la deuxième est constituée des stations situées au Nord-est de la région d'étude.

Il est clair que la sécheresse s'intensifie allant du Nord-est vers le Nord-ouest comme il est indiqué sur la figure IV.5.



**Figure IV.4.** Représentation spatiales des stations humides et sèches selon le résultat d'ACP

#### Interprétation des résultats sur les années

La méthode de l'analyse en composantes principales a permis de confirmer les résultats obtenue par la méthode des SPI, dans la figure IV.06 il existe deux parties, ces deux parties sont partagées par l'axe F2, il est constater que les deux années 2001 et 2002 sont opposées par rapport à l'axe F2, ces deux années sont également opposées en caractéristiques, l'année

2001 est l'année totalement sèche avec 16 stations sèches et l'année 2002 est l'année humide avec 24 stations.

Les années 1996 et 1997 sont aussi opposées par rapport à l'axe F2. L'année 1996 est aussi année sèche 14/26 stations par contre l'année 1997 année humide avec 11/26 stations.

Les années 1997 et 2002 sont les années les moins touchées par la sécheresse avec une fraction de stations humides de 11/26 (1997) et 24/26 (2002).

Plus on s'approche de l'axe F2 les années deviennent normale, les détails sont illustrés dans la figure IV.06.

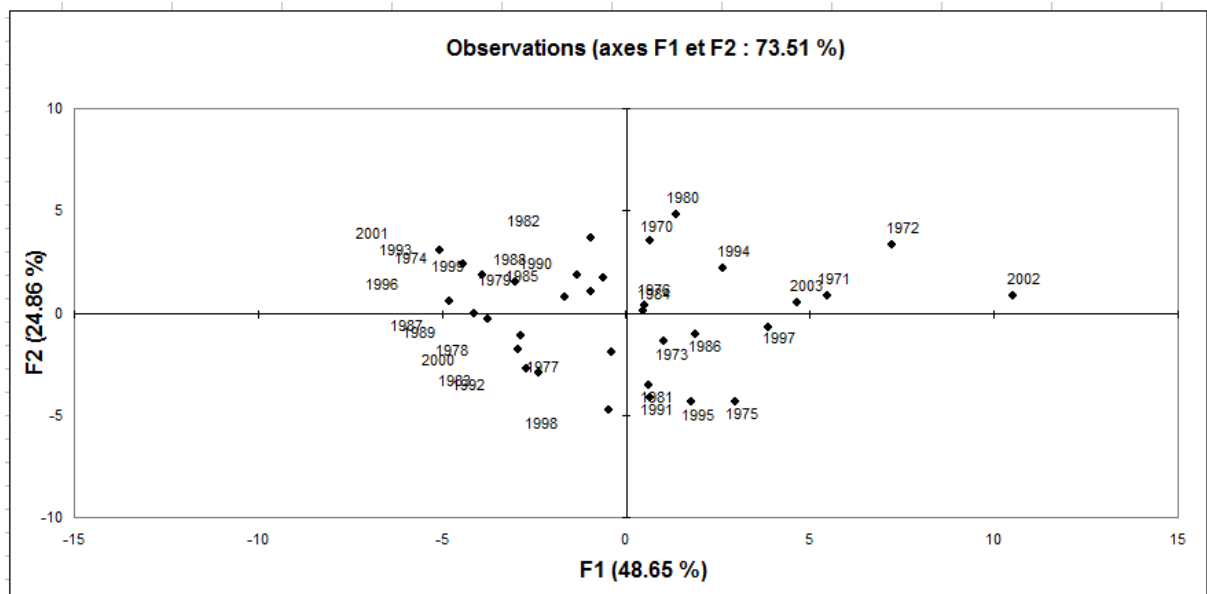


Figure IV.5. Distribution des années sur les deux axes F1 et F2

## Conclusion

Les années 1997 et 2002 sont les années les moins touchées par la sécheresse avec une fraction de stations humides de 11/26 (1997) et 24/26 (2002).

L'analyse en composantes principales a permis de faire une régionalisation de la sécheresse dans la zone d'étude. Le modèle a partagé la zone d'étude en deux régions, la première est constituée des stations situées dans la partie Nord-ouest de la région d'étude tandis que les stations de la deuxième région sont situées dans sa partie Nord-est.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'étude des processus pluviométriques dans les régions semi-arides n'est plus à démontrer vu que la précipitation y constitue le facteur limitant de premier ordre. Ainsi, une bonne connaissance de la distribution pluviométrique à la fois dans l'espace est indispensable pour la campagne agricole.

Ce travail de mémoire avait pour objectif d'étudier la variation pluviométrique spatiale annuelle et saisonnière de la région du bassin de Soummam. Les variations spatiales des régimes pluviométriques des 26 stations d'une durée de 34 ans dans le bassin de Soummam. On a expliqué ce changement du régime pluviométrique par l'irrégularité des moyennes des précipitations saisonnières et annuelles.

Pour ce faire, nous avons défini une méthodologie. La recherche d'une tendance ou d'un changement dans les séries temporelles des précipitations a été effectuée par les différents tests de rupture proposés par le logiciel Khronostat : le test de Pettitt (1979), la procédure de segmentation d'Hubert (1997). Ajouter à cela, l'observation des tendances des 26 stations.

L'étude de la variabilité spatio-temporelle des pluies, réalisé sur une période de 34 ans sur l'ensemble du bassin versant de la Soummam avec 26 stations pluviométriques, montre une forte hétérogénéité concernant leur répartition spatiale, dans le contexte inter régionales. Dans cette étude nous avons pu montrer que la répartition des pluies est influencé par l'altitude ; la longitude et l'éloignement à la mer.

L'étude temporelle à différentes échelles du temps (annuelle, saisonnière et mensuelle) a permis de mettre en évidence ; les différentes périodes sèches et humides avec des déficits pluviométriques très marqués, une diminution progressive de la pluviométrie, une accentuation de l'irrégularité pluvieuse et raccourcissement de la saison humide.

L'indice pluviométrique (SPI) a été ensuite utilisé pour caractériser les périodes humides, normales et sèches pour les stations étudiées.

L'indice standardisé des précipitations est un outil très intéressant pour caractériser les années humides et les années sèches. À échelle annuelle, il a été constaté que 65% du total d'enregistrements sont normaux, 18% sont secs et 17% sont humides. Les années 1993, 1996 et 2001 sont les années les plus touchées par la sécheresse avec une fraction de 14 stations sèches pour les années 1993 et 1996, et 16 station sèche pour l'année 2001.

On enregistre uniquement deux années plus humides 1972 avec 23 stations humides sur 26 stations et 2002 avec 24 stations humides sur 26 stations.

L'analyse en composantes principales a permis de faire une régionalisation de la sécheresse dans la zone d'étude. Le modèle a partagé la zone d'étude en deux régions, la première est constituée des stations situées dans la partie Nord-ouest de la région d'étude qui représente les stations sèches, tandis que les stations de la deuxième région sont situées dans sa partie Nord-est qui représente les stations humides.

La sécheresse s'accroît dans le bassin versant allant du Nord-est vers le Nord-ouest. Ce modèle a permis également de confirmer les résultats obtenus par l'indice standardisé de précipitation à l'échelle temporelle.

Ce travail présente un axe de recherche et peut-être approfondis dans un futur travaux de recherches en se basant sur ces résultats et en utilisant d'autres méthodes plus approfondies.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

[1] : **OMM, 2006.** Suivi de la sécheresse, progrès et enjeu futur.

[2] : **O.N.M** (office nationale de météorologie).

**Abderrahmani, Belai.(2015)** les risques climatiques et leurs impacts sur l'environnement. Thèse doctorat. Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf. Faculté de Chimie .Département de Chimie Organique Industrielle. Année de soutenance 2015. 184 p

**Ambroise, Bruno., (1998).** Du Cycle de l'eau dans un bassin versant -Processus, Facteurs, Modèles-. Editions \*H\*G\*A\*, Bucares. 200 p

**ANONYME (2009).** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie. PNUD. Algérie, 19 p.

**Bahroun S., Kherici Bousnoubra H.(2011).** évaluation de l'indice de pollution organique dans les eaux naturelles cas de la région d'el tarf (nord-est algerien), larhyss journal, issn 1112-3680, n° 09, décembre 2011, pp. 171-178

**Bates,B.et al ,2008:** Le changement climatique et l'eau , document technique publié par le GIEC,Genève,236p.

**Brahimi Djalal.(2014)** Analyse spatio-temporelle des pluies en Algérie. Mémoire Master université abou bekr belkaid Tlemcen. Pp 49.

**Douaoui A., Hartani T., Lakehal M., (2006 )** La salinisation dans la plaine du bas Cheliff :acquis et perspectives.

**El Ibrahim, Abdllhamid et al .( 2015)** Etude de l'impact des variations pluviométriques sur les fluctuations piézométrique des nappes phréatiques superficielle en zone semi-aride (Cas de la plaine de Saïs, Nord du Maroc). Européen Scientific Journal, edition vol.11, No.27 ISSN :1857 – 7881

**Franck, Lespinas.(2008)** Impacts du changement climatique sur l'hydrologie des fleuves côtiers en région Languedoc-Roussillon. Thèse de doctorat. UNIVERSITE DE PERPIGNAN. Année de soutenance 2008. 334p Disponible sur < cpdp.debatpublic.f>.

**GIEC, (2001).** Bilan 2001 des changements climatiques : Les éléments scientifiques. Rapport de synthèse n.3, 97p

**GIEC, (2007).** Bilan 2007 des changements climatiques. Rapport de synthèse n.4, 114p.

**Hebal, A. Remini B.** Étude de la variabilité spatiotemporelle des pluies dans le Nord algérien. <https://www.researchgate.net/publication/277077455>.

- Jean-Marc, WATELET.(2010)** Impact du changement climatique sur la stabilité des cavités souterraines. Rapport d'étude. L'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Pp 12 Disponible sur < ineris.fr >.
- KADI A. (1997).** La gestion de l'eau en Algérie, Hydrological Sciences (Journal des Sciences Hydrologiques), Vol.42, N°2, 191-197.
- KHALDI, Abdelkader.(2005)** Impacts de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien " Monts de Tlemcen - Saida". 230p. UNIVERSITE D'ORAN. Faculté des sciences de la terre, de Géographie et l'aménagement du territoire. Mémoire de doctorat. Année de soutenance 2005. Disponible sur <hydrologie.org>.
- Kourat tassadit et Abderrahmane Medejrad(2016).** Analyse et cartographie des pluies et l'incidence de leurs variabilité spatio-temporelle sur la délimitation des zones céréalières dans les hautes plaines orientales de l'Algérie. *Revue Agriculture. Numéro spécial 1 (2016) 220 – 229*
- LABORDE, J.P. (2009).** Éléments D'hydrologie De Surface. Ecole Polytechnique De L'université De Nice - SOPHIA ANTIPOLIS 202 p. Edition 2009.
- Marc Morell,(1999)** Acquisition et Constitution d'une Information Hydrologique De Base. Editions \*H\*G\*A, Bucarest. 203p.
- MCKEE T.B., DOESKEN N.J. et KLEIST J. (1993)** - The relationship of drought frequency and duration to time scale. Actes de la 8th Conference on Applied Climatology (Anaheim, Californie), Pp. 179-184.
- Meddi H, Meddi M ;(2009)** variabilité des précipitations annuelles du nord-ouest de l'Algérie. Article de recherche science et changement planétaire / sécheresse. Volume 20 N1, 57-65.
- Medjerab A, Henia L.(2005),** Régionalisation des pluies annuelles dans l'Algérie nordoccidentale,PFE, 63p
- Mokhtari, E. (2009).** Contribution à l'étude du transport solide en suspension bassin de l'oued chelif-ghrib (Mémoire de Magister, Annaba).
- Mokhtari, E. (2014).** Etude du transport solide par charriage dans l'oued Mina et son impact sur l'envasement du barrage de Sidi M'Hamed Ben Aouda w. de Relizane. Mémoires de Magister.
- Namous, N., & Mokhtari, E. (2012).** Variation spatio-temporelle des précipitations. cas du bassin versant de l'oued Chélif-Ghrib. Mémoire de fin d'étude .université de oum el bouaghi 2012.

**Organisation météorologique mondiale (OMM), (2007).** Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. 114p.

**PUGET, Jean- Loup., BLANCHET, René., SALENÇON, Jean., CARPENTIER, Alain., (2010).** Le changement climatique. Académie des sciences. Synthèse des interventions et discussions prononcées lors du débat sur le climat. 21p

**Ramdani Mariem.2016.** Étude de la sécheresse, cas du bassin versant de la Soummam. Mémoire de Master en Hydraulique ENSH 2016.

**Rata M., (2010)** Variabilité spatio-temporelle de la salinité dans la plaine du Bas Chélif - Etablissement d'une Banque de Données-UHBC.2010.

**Robinson M.(2000),** hydrologie continentale, Armand colin. Paris Pp 368.

**Sahli, Y., Mokhtari, E., Merzouk, B., Laignel, B., Vial, C., & Madani, K. (2019).** Mapping surface water erosion potential in the Soummam watershed in Northeast Algeria with RUSLE model. *Journal of Mountain Science*, 16(7), 1606-1615.

**SAIDI, Hayet., (2011).** Impact des changements climatiques sur le régime des cours d'eau : cas de l'Oued Mina (W. Relizane). Mémoire de magister. Option : Génie de l'eau. Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique Arbaoui Abdellah. 141p

**Senoussi, S., Agoumi, A., Yacoubi, M., Fakhraddine, A., Sayout, E.H., Mokssit, A.,Chikri,N., (1999).** Changements climatiques et ressources en eau Bassin versant de l'Ouergha(Maroc). *Hydroécol Appl* (11). Pp 163-182

**Vicente Luyet, 2010 ;** Station météo, Edition De Boek.2010.

<http://ga.water.usgs.gov/watercycle.html>

<http://www.ctrdv.fr/GaleriePhoto/picture.php?/709/category/107>

[www.ec.gc.ca/eau-water](http://www.ec.gc.ca/eau-water) (Environnement Canada)

# **Annexes**

## Annexes

### Annexe n°1. Calcul et classification des SPI

#### Station 150611

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	627,7	1,1	Modérément humide
1971	541,0	0,7	Proche de la normale
1972	844,8	2,3	Extrêmement humide
1973	257,2	-0,9	Proche de la normale
1974	121,8	-1,6	Très sec
1975	436,6	0,1	Modérément humide
1976	618,1	1,1	Modérément humide
1977	492,5	0,4	Proche de la normale
1978	272,7	-0,8	Proche de la normale
1979	468,0	0,3	Proche de la normale
1980	212,6	-1,1	Modérément sec
1981	320,8	-0,5	Proche de la normale
1982	220,7	-1,1	Modérément sec
1983	242,2	-1,0	Modérément sec
1984	379,4	-0,2	Proche de la normale
1985	298,4	-0,7	Proche de la normale
1986	284,9	-0,7	Proche de la normale
1987	302,8	-0,6	Proche de la normale
1988	347,2	-0,4	Proche de la normale
1989	203,4	-1,2	Modérément sec
1990	451,8	0,2	Proche de la normale
1991	498,2	0,4	Proche de la normale
1992	433,5	0,1	Proche de la normale
1993	333,5	-0,5	Proche de la normale
1994	384,7	-0,2	Proche de la normale
1995	626,7	1,1	Modérément humide
1996	270,2	-0,8	Proche de la normale
1997	610,3	1,0	Modérément humide
1998	524,4	0,6	Proche de la normale
1999	384,6	-0,2	Proche de la normale
2000	404,4	-0,1	Proche de la normale
2001	259,8	-0,9	Proche de la normale
2002	961,2	3,0	Extrêmement humide
2003	628,9	1,1	Modérément humide

### Station 150613

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	389,4	-0,9	Proche de la normale
1971	509,6	-0,1	Proche de la normale
1972	672,7	1,1	Modérément humide
1973	430,1	-0,6	Proche de la normale
1974	369,8	-1,1	Modérément sec
1975	679,8	1,2	Modérément humide
1976	748,0	1,7	Très humide
1977	542,8	0,2	Proche de la normale
1978	429,9	-0,6	Proche de la normale
1979	368,1	-1,1	Modérément sec
1980	433,9	-0,6	Proche de la normale
1981	636,0	0,9	Proche de la normale
1982	409,3	-0,8	Proche de la normale
1983	508,7	-0,1	Proche de la normale
1984	605,7	0,6	Proche de la normale
1985	369,3	-1,1	Modérément sec
1986	557,4	0,3	Proche de la normale
1987	348,5	-1,2	Très sec
1988	431,7	-0,6	Proche de la normale
1989	378,1	-1,0	Modérément sec
1990	724,1	1,5	Très humide
1991	595,5	0,6	Proche de la normale
1992	571,9	0,4	Proche de la normale
1993	371,6	-1,1	Modérément sec
1994	597,2	0,6	Proche de la normale
1995	669,4	1,1	Modérément humide
1996	348,1	-1,2	Très sec
1997	681,1	1,2	Modérément humide
1998	573,3	0,4	Proche de la normale
1999	421,0	-0,7	Proche de la normale
2000	434,1	-0,6	Proche de la normale
2001	366,4	-1,1	Modérément sec
2002	911,2	2,8	Extrêmement humide
2003	508,8	-0,1	Proche de la normale

## Station 150627

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	508,6	0,4	Proche de la normale
1971	525,3	0,5	Proche de la normale
1972	758,7	2,2	Extrêmement humide
1973	343,7	-0,8	Proche de la normale
1974	245,8	-1,5	Très sec
1975	558,2	0,7	Proche de la normale
1976	683,1	1,6	Modérément humide
1977	517,6	0,5	Proche de la normale
1978	351,3	-0,7	Proche de la normale
1979	418,1	-0,2	Proche de la normale
1980	323,3	-0,9	Proche de la normale
1981	478,4	0,2	Proche de la normale
1982	315,0	-1,0	Proche de la normale
1983	375,5	-0,6	Proche de la normale
1984	492,5	0,3	Proche de la normale
1985	333,9	-0,8	Proche de la normale
1986	421,2	-0,2	Proche de la normale
1987	308,1	-1,0	Modérément sec
1988	369,7	-0,6	Proche de la normale
1989	273,0	-1,3	Modérément sec
1990	542,1	0,6	Proche de la normale
1991	516,1	0,4	Proche de la normale
1992	462,1	0,1	Proche de la normale
1993	327,9	-0,9	Proche de la normale
1994	474,2	0,1	Proche de la normale
1995	611,2	1,1	Modérément humide
1996	292,3	-1,1	Modérément sec
1997	608,1	1,1	Modérément humide
1998	511,3	0,4	Proche de la normale
1999	380,6	-0,5	Proche de la normale
2000	391,0	-0,4	Proche de la normale
2001	292,7	-1,1	Modérément sec
2002	860,7	2,9	Extrêmement humide
2003	537,4	0,6	Proche de la normale

### Station 150702

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	387,4	-0,4	Proche de la normale
1971	667,2	1,6	Modérément humide
1972	734,7	2,0	Extrêmement humide
1973	530,5	0,6	Proche de la normale
1974	444,3	0,0	Proche de la normale
1975	579,5	1,0	Modérément humide
1976	403,2	-0,3	Proche de la normale
1977	343,1	-0,7	Proche de la normale
1978	361,5	-0,6	Proche de la normale
1979	494,6	0,4	Proche de la normale
1980	403,8	-0,3	Proche de la normale
1981	492,5	0,3	Proche de la normale
1982	330,4	-0,8	Proche de la normale
1983	422,8	-0,1	Proche de la normale
1984	596,7	1,1	Proche de la normale
1985	449,6	0,0	Proche de la normale
1986	557,8	0,8	Proche de la normale
1987	294,8	-1,0	Proche de la normale
1988	554,4	0,8	Proche de la normale
1989	242,7	-1,4	Modérément sec
1990	371,1	-0,5	Proche de la normale
1991	446,8	0,0	Proche de la normale
1992	316,2	-0,9	Proche de la normale
1993	122,3	-2,2	Extrêmement sec
1994	413,6	-0,2	Proche de la normale
1995	296,1	-1,0	Modérément sec
1996	295,3	-1,0	Modérément sec
1997	537,0	0,7	Proche de la normale
1998	472,1	0,2	Proche de la normale
1999	347,1	-0,7	Proche de la normale
2000	385,4	-0,4	Proche de la normale
2001	289,7	-1,1	Modérément sec
2002	813,0	2,6	Extrêmement humide
2003	646,1	1,4	Modérément humide

### Station 150703

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	562,3	0,2	Proche de la normale
1971	875,5	2,2	Extrêmement humide
1972	720,7	1,2	Modérément humide
1973	668,0	0,9	Proche de la normale
1974	377,5	-1,0	Proche de la normale
1975	665,1	0,9	Proche de la normale
1976	537,6	0,0	Proche de la normale
1977	395,4	-0,9	Proche de la normale
1978	508,0	-0,2	Proche de la normale
1979	465,8	-0,4	Proche de la normale
1980	621,9	0,6	Proche de la normale
1981	543,2	0,1	Proche de la normale
1982	523,5	-0,1	Proche de la normale
1983	600,0	0,4	Proche de la normale
1984	510,3	-0,2	Proche de la normale
1985	411,9	-0,8	Proche de la normale
1986	635,9	0,7	Proche de la normale
1987	376,6	-1,0	Proche de la normale
1988	239,7	-1,9	Très sec
1989	394,6	-0,9	Proche de la normale
1990	490,2	-0,3	Proche de la normale
1991	524,1	-0,1	Proche de la normale
1992	497,1	-0,2	Proche de la normale
1993	351,0	-1,2	Modérément sec
1994	668,0	0,9	Proche de la normale
1995	617,0	0,5	Proche de la normale
1996	349,5	-1,2	Modérément sec
1997	694,6	1,1	Proche de la normale
1998	517,6	-0,1	Proche de la normale
1999	384,1	-1,0	Modérément sec
2000	496,3	-0,2	Proche de la normale
2001	256,4	-1,8	Très sec
2002	877,9	2,3	Extrêmement humide
2003	746,1	1,4	Modérément humide

## Station 150707

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	336,2	-0,3	Proche de la normale
1971	458,8	0,7	Proche de la normale
1972	440,8	0,6	Proche de la normale
1973	410,9	0,3	Proche de la normale
1974	281,1	-0,7	Proche de la normale
1975	586,4	1,7	Très humide
1976	296,2	-0,6	Proche de la normale
1977	299,7	-0,6	Proche de la normale
1978	290,5	-0,6	Proche de la normale
1979	321,4	-0,4	Proche de la normale
1980	308,6	-0,5	Proche de la normale
1981	528,2	1,3	Modérément humide
1982	372,9	0,0	Proche de la normale
1983	365,8	0,0	Proche de la normale
1984	443,6	0,6	Proche de la normale
1985	342,0	-0,2	Proche de la normale
1986	495,0	1,0	Modérément humide
1987	157,8	-1,7	Très sec
1988	187,2	-1,5	Très sec
1989	331,9	-0,3	Proche de la normale
1990	398,7	0,2	Proche de la normale
1991	503,3	1,1	Modérément humide
1992	276,7	-0,7	Proche de la normale
1993	222,7	-1,2	Modérément sec
1994	425,7	0,5	Proche de la normale
1995	546,1	1,4	Modérément humide
1996	225,9	-1,1	Modérément sec
1997	344,3	-0,2	Proche de la normale
1998	306,4	-0,5	Proche de la normale
1999	258,2	-0,9	Proche de la normale
2000	247,4	-1,0	Modérément sec
2001	253,0	-0,9	Proche de la normale
2002	732,5	2,9	Extrêmement humide
2003	534,0	1,3	Modérément humide

### Station 150724

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	367,9	0,0	Proche de la normale
1971	570,5	2,0	Extrêmement humide
1972	522,1	1,5	Très humide
1973	443,2	0,7	Proche de la normale
1974	298,5	-0,7	Proche de la normale
1975	514,3	1,4	Modérément humide
1976	367,1	-0,1	Proche de la normale
1977	290,0	-0,8	Proche de la normale
1978	321,5	-0,5	Proche de la normale
1979	344,8	-0,3	Proche de la normale
1980	383,3	0,1	Proche de la normale
1981	417,8	0,5	Proche de la normale
1982	346,7	-0,3	Proche de la normale
1983	331,5	-0,4	Proche de la normale
1984	433,3	0,6	Proche de la normale
1985	344,0	-0,3	Proche de la normale
1986	454,9	0,8	Proche de la normale
1987	243,0	-1,3	Modérément sec
1988	287,4	-0,9	Proche de la normale
1989	281,7	-0,9	Proche de la normale
1990	338,8	-0,3	Proche de la normale
1991	392,8	0,2	Proche de la normale
1992	311,9	-0,6	Proche de la normale
1993	208,5	-1,6	Très sec
1994	409,8	0,4	Proche de la normale
1995	419,8	0,5	Proche de la normale
1996	251,1	-1,2	Modérément sec
1997	469,8	1,0	Modérément humide
1998	361,2	-0,1	Proche de la normale
1999	285,2	-0,9	Proche de la normale
2000	291,8	-0,8	Proche de la normale
2001	221,1	-1,5	Très sec
2002	640,9	2,7	Extrêmement humide
2003	504,6	1,3	Modérément humide

### Station 150801

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	299,3	-0,3	Proche de la normale
1971	375,3	0,5	Proche de la normale
1972	310,9	-0,2	Proche de la normale
1973	314,9	-0,1	Proche de la normale
1974	198,7	-1,4	Modérément sec
1975	477,6	1,7	Très humide
1976	308,5	-0,2	Proche de la normale
1977	326,5	0,0	Proche de la normale
1978	217,0	-1,2	Modérément sec
1979	230,3	-1,1	Modérément sec
1980	297,9	-0,3	Proche de la normale
1981	398,3	0,8	Proche de la normale
1982	320,3	-0,1	Proche de la normale
1983	256,9	-0,8	Proche de la normale
1984	335,1	0,1	Proche de la normale
1985	331,2	0,1	Proche de la normale
1986	410,4	0,9	Proche de la normale
1987	270,0	-0,6	Proche de la normale
1988	344,8	0,2	Proche de la normale
1989	369,5	0,5	Proche de la normale
1990	336,4	0,1	Proche de la normale
1991	518,1	2,2	Extrêmement humide
1992	301,0	-0,3	Proche de la normale
1993	241,5	-1,0	Modérément sec
1994	371,4	0,5	Proche de la normale
1995	422,8	1,1	Modérément humide
1996	196,2	-1,5	Très sec
1997	328,6	0,0	Proche de la normale
1998	328,2	0,0	Proche de la normale
1999	224,4	-1,2	Modérément sec
2000	226,1	-1,1	Modérément sec
2001	193,8	-1,5	Très sec
2002	495,0	1,9	Très humide
2003	528,6	2,3	Extrêmement humide

### Station 150802

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	282,9	-1,4	Modérément sec
1971	544,1	0,2	Proche de la normale
1972	885,2	2,3	Extrêmement humide
1973	795,5	1,7	Très humide
1974	423,2	-0,5	Proche de la normale
1975	600,8	0,5	Proche de la normale
1976	535,8	0,1	Proche de la normale
1977	581,1	0,4	Proche de la normale
1978	346,7	-1,0	Modérément sec
1979	555,0	0,3	Proche de la normale
1980	725,5	1,3	Modérément humide
1981	519,8	0,0	Proche de la normale
1982	479,1	-0,2	Proche de la normale
1983	615,7	0,6	Proche de la normale
1984	591,1	0,5	Proche de la normale
1985	408,2	-0,6	Proche de la normale
1986	653,9	0,9	Proche de la normale
1987	353,0	-1,0	Modérément sec
1988	549,4	0,2	Proche de la normale
1989	326,6	-1,1	Modérément sec
1990	489,6	-0,1	Proche de la normale
1991	608,8	0,6	Proche de la normale
1992	449,7	-0,4	Proche de la normale
1993	346,5	-1,0	Modérément sec
1994	572,8	0,4	Proche de la normale
1995	555,6	0,3	Proche de la normale
1996	255,0	-1,6	Très sec
1997	609,7	0,6	Proche de la normale
1998	503,5	-0,1	Proche de la normale
1999	275,9	-1,5	Très sec
2000	378,1	-0,8	Proche de la normale
2001	177,7	-2,1	Extrêmement sec
2002	847,1	2,1	Extrêmement humide
2003	579,5	0,4	Proche de la normale

## Station 150807

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	291,1	-1,2	Modérément sec
1971	459,7	0,1	Proche de la normale
1972	598,1	1,2	Modérément humide
1973	555,2	0,9	Proche de la normale
1974	241,2	-1,5	Très sec
1975	566,6	1,0	Modérément humide
1976	472,0	0,2	Proche de la normale
1977	454,8	0,1	Proche de la normale
1978	387,5	-0,4	Proche de la normale
1979	447,4	0,0	Proche de la normale
1980	526,6	0,7	Proche de la normale
1981	435,1	0,0	Proche de la normale
1982	402,5	-0,3	Proche de la normale
1983	268,1	-1,3	Modérément sec
1984	322,2	-0,9	Proche de la normale
1985	487,3	0,4	Proche de la normale
1986	507,3	0,5	Proche de la normale
1987	304,2	-1,1	Modérément sec
1988	434,3	-0,1	Proche de la normale
1989	357,0	-0,6	Proche de la normale
1990	307,1	-1,0	Modérément sec
1991	578,5	1,1	Modérément humide
1992	362,8	-0,6	Proche de la normale
1993	324,2	-0,9	Proche de la normale
1994	477,1	0,3	Proche de la normale
1995	533,8	0,7	Proche de la normale
1996	285,5	-1,2	Modérément sec
1997	602,3	1,2	Modérément humide
1998	515,7	0,6	Proche de la normale
1999	328,1	-0,9	Proche de la normale
2000	407,7	-0,3	Proche de la normale
2001	272,4	-1,3	Modérément sec
2002	843,5	3,1	Extrêmement humide
2003	633,5	1,5	Très humide

### Station 150902

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	451,8	0,5	Proche de la normale
1971	694,7	2,2	Extrêmement humide
1972	574,3	1,4	Modérément humide
1973	450,5	0,5	Proche de la normale
1974	241,0	-1,0	Modérément sec
1975	400,7	0,2	Proche de la normale
1976	360,7	-0,1	Proche de la normale
1977	453,4	0,5	Proche de la normale
1978	231,7	-1,0	Modérément sec
1979	428,8	0,4	Proche de la normale
1980	328,5	-0,3	Proche de la normale
1981	384,5	0,1	Proche de la normale
1982	167,4	-1,5	Très sec
1983	104,6	-1,9	Très sec
1984	267,0	-0,8	Proche de la normale
1985	302,2	-0,5	Proche de la normale
1986	383,4	0,0	Proche de la normale
1987	340,5	-0,3	Proche de la normale
1988	321,4	-0,4	Proche de la normale
1989	335,8	-0,3	Proche de la normale
1990	320,0	-0,4	Proche de la normale
1991	431,9	0,4	Proche de la normale
1992	194,3	-1,3	Modérément sec
1993	210,1	-1,2	Modérément sec
1994	483,0	0,8	Proche de la normale
1995	462,8	0,6	Proche de la normale
1996	281,4	-0,7	Proche de la normale
1997	543,0	1,2	Modérément humide
1998	444,3	0,5	Proche de la normale
1999	284,0	-0,7	Proche de la normale
2000	345,2	-0,2	Proche de la normale
2001	238,8	-1,0	Modérément sec
2002	736,5	2,5	Extrêmement humide
2003	607,1	1,6	Très humide

### Station 150904

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	371,5	0,0	Proche de la normale
1971	577,2	1,6	Très humide
1972	586,2	1,7	Très humide
1973	131,1	-2,0	Proche de la normale
1974	93,2	-2,3	Proche de la normale
1975	493,5	1,0	Modérément humide
1976	246,3	-1,0	Modérément sec
1977	357,0	-0,1	Proche de la normale
1978	272,6	-0,8	Proche de la normale
1979	347,6	-0,2	Proche de la normale
1980	492,3	1,0	Modérément humide
1981	443,3	0,6	Proche de la normale
1982	393,1	0,2	Proche de la normale
1983	321,0	-0,4	Proche de la normale
1984	406,1	0,3	Proche de la normale
1985	325,8	-0,4	Proche de la normale
1986	491,7	0,9	Proche de la normale
1987	327,1	-0,4	Proche de la normale
1988	328,3	-0,4	Proche de la normale
1989	354,9	-0,2	Proche de la normale
1990	406,5	0,3	Proche de la normale
1991	418,1	0,4	Proche de la normale
1992	306,8	-0,5	Proche de la normale
1993	270,7	-0,8	Proche de la normale
1994	488,9	0,9	Proche de la normale
1995	391,7	0,1	Proche de la normale
1996	277,3	-0,8	Proche de la normale
1997	483,6	0,9	Proche de la normale
1998	372,9	0,0	Proche de la normale
1999	239,8	-1,1	Modérément sec
2000	282,6	-0,7	Proche de la normale
2001	205,2	-1,4	Modérément sec
2002	629,4	2,1	Extrêmement humide
2003	580,6	1,7	Très humide

### Station 151001

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	552,2	0,6	Proche de la normale
1971	685,5	1,6	Très humide
1972	583,8	0,9	Proche de la normale
1973	592,1	0,9	Proche de la normale
1974	391,0	-0,6	Proche de la normale
1975	594,1	0,9	Proche de la normale
1976	400,5	-0,5	Proche de la normale
1977	542,7	0,6	Proche de la normale
1978	440,5	-0,2	Proche de la normale
1979	398,3	-0,5	Proche de la normale
1980	557,7	0,7	Proche de la normale
1981	648,4	1,3	Modérément humide
1982	445,8	-0,2	Proche de la normale
1983	525,6	0,4	Proche de la normale
1984	5,0	-3,4	Extrêmement sec
1985	508,1	0,3	Proche de la normale
1986	488,6	0,2	Proche de la normale
1987	360,3	-0,8	Proche de la normale
1988	410,6	-0,4	Proche de la normale
1989	312,2	-1,1	Modérément sec
1990	366,1	-0,7	Proche de la normale
1991	440,0	-0,2	Proche de la normale
1992	437,5	-0,2	Proche de la normale
1993	322,9	-1,0	Modérément sec
1994	523,1	0,4	Proche de la normale
1995	543,6	0,6	Proche de la normale
1996	285,1	-1,3	Modérément sec
1997	605,9	1,0	Modérément humide
1998	510,8	0,3	Proche de la normale
1999	370,6	-0,7	Proche de la normale
2000	421,5	-0,3	Proche de la normale
2001	288,7	-1,3	Modérément sec
2002	728,0	1,9	Très humide
2003	584,2	0,9	Proche de la normale

### Station 151004

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	386,5	-0,4	Proche de la normale
1971	552,7	0,8	Proche de la normale
1972	672,6	1,6	Très humide
1973	535,6	0,6	Proche de la normale
1974	387,3	-0,3	Proche de la normale
1975	499,7	0,4	Proche de la normale
1976	192,2	-1,7	Très sec
1977	461,0	0,1	Proche de la normale
1978	359,2	-0,5	Proche de la normale
1979	353,1	-0,6	Proche de la normale
1980	506,8	0,5	Proche de la normale
1981	512,2	0,5	Proche de la normale
1982	246,1	-1,3	Modérément sec
1983	435,8	0,0	Proche de la normale
1984	601,4	1,1	Modérément humide
1985	435,7	0,0	Proche de la normale
1986	570,2	0,9	Proche de la normale
1987	333,9	-0,7	Proche de la normale
1988	444,8	0,0	Proche de la normale
1989	289,2	-1,0	Modérément sec
1990	11,0	-2,9	Extrêmement sec
1991	660,5	1,5	Très humide
1992	402,3	-0,2	Proche de la normale
1993	304,1	-0,9	Proche de la normale
1994	552,1	0,8	Proche de la normale
1995	498,5	0,4	Proche de la normale
1996	262,6	-1,2	Modérément sec
1997	618,5	1,2	Modérément humide
1998	511,5	0,5	Proche de la normale
1999	333,6	-0,7	Proche de la normale
2000	392,4	-0,3	Proche de la normale
2001	294,3	-1,0	Modérément sec
2002	718,5	1,9	Très humide
2003	585,8	1,0	Modérément humide

### Station 151006

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	395,7	-0,7	Proche de la normale
1971	679,4	1,8	Très humide
1972	610,4	1,2	Modérément humide
1973	556,9	0,7	Proche de la normale
1974	346,9	-1,2	Modérément sec
1975	619,2	1,3	Modérément humide
1976	372,6	-0,9	Proche de la normale
1977	511,6	0,3	Proche de la normale
1978	462,9	-0,1	Proche de la normale
1979	293,9	-1,6	Très sec
1980	463,7	-0,1	Proche de la normale
1981	483,0	0,1	Proche de la normale
1982	505,4	0,3	Proche de la normale
1983	460,5	-0,1	Proche de la normale
1984	519,6	0,4	Proche de la normale
1985	510,9	0,3	Proche de la normale
1986	514,6	0,3	Proche de la normale
1987	386,7	-0,8	Proche de la normale
1988	420,7	-0,5	Proche de la normale
1989	354,1	-1,1	Modérément sec
1990	451,8	-0,2	Proche de la normale
1991	434,4	-0,4	Proche de la normale
1992	438,7	-0,3	Proche de la normale
1993	305,8	-1,5	Très sec
1994	585,0	1,0	Modérément humide
1995	605,5	1,1	Modérément humide
1996	308,7	-1,5	Très sec
1997	615,2	1,2	Modérément humide
1998	510,1	0,3	Proche de la normale
1999	407,5	-0,6	Proche de la normale
2000	450,6	-0,2	Proche de la normale
2001	283,0	-1,7	Très sec
2002	737,5	2,3	Extrêmement humide
2003	619,5	1,3	Modérément humide

### Station 151007

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	923,5	0,6	Proche de la normale
1971	1155,6	1,6	Très humide
1972	1056,7	1,2	Modérément humide
1973	1269,6	2,1	Extrêmement humide
1974	661,7	-0,6	Proche de la normale
1975	901,9	0,5	Proche de la normale
1976	736,0	-0,3	Proche de la normale
1977	994,9	0,9	Proche de la normale
1978	773,1	-0,1	Proche de la normale
1979	409,4	-1,8	Très sec
1980	777,8	-0,1	Proche de la normale
1981	901,8	0,5	Proche de la normale
1982	650,4	-0,7	Proche de la normale
1983	697,7	-0,5	Proche de la normale
1984	838,0	0,2	Proche de la normale
1985	738,1	-0,3	Proche de la normale
1986	1057,5	1,2	Modérément humide
1987	525,9	-1,3	Modérément sec
1988	878,0	0,3	Proche de la normale
1989	508,9	-1,3	Modérément sec
1990	661,8	-0,6	Proche de la normale
1991	609,7	-0,9	Proche de la normale
1992	831,4	0,1	Proche de la normale
1993	566,2	-1,1	Modérément sec
1994	989,8	0,9	Proche de la normale
1995	945,1	0,7	Proche de la normale
1996	595,7	-0,9	Proche de la normale
1997	1067,5	1,2	Modérément humide
1998	949,1	0,7	Proche de la normale
1999	523,1	-1,3	Modérément sec
2000	747,3	-0,3	Proche de la normale
2001	374,2	-2,0	Extrêmement sec
2002	1158,0	1,6	Très humide
2003	819,1	0,1	Proche de la normale

### Station 050901

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	399,7	2,3	Extrêmement humide
1971	363,1	1,8	Très humide
1972	398,0	2,3	Extrêmement humide
1973	192,4	-0,7	Proche de la normale
1974	295,9	0,8	Proche de la normale
1975	187,1	-0,8	Proche de la normale
1976	192,8	-0,7	Proche de la normale
1977	181,7	-0,8	Proche de la normale
1978	143,3	-1,4	Modérément sec
1979	241,5	0,0	Proche de la normale
1980	281,9	0,6	Proche de la normale
1981	187,3	-0,8	Proche de la normale
1982	267,7	0,4	Proche de la normale
1983	129,1	-1,6	Très sec
1984	221,0	-0,3	Proche de la normale
1985	267,3	0,4	Proche de la normale
1986	263,5	0,3	Proche de la normale
1987	235,5	-0,1	Proche de la normale
1988	285,6	0,7	Proche de la normale
1989	258,3	0,3	Proche de la normale
1990	261,6	0,3	Proche de la normale
1991	216,7	-0,3	Proche de la normale
1992	184,1	-0,8	Proche de la normale
1993	204,4	-0,5	Proche de la normale
1994	311,7	1,0	Modérément humide
1995	185,9	-0,8	Proche de la normale
1996	178,1	-0,9	Proche de la normale
1997	249,5	0,1	Proche de la normale
1998	131,7	-1,6	Très sec
1999	318,1	1,1	Modérément humide
2000	127,4	-1,6	Très sec
2001	253,4	0,2	Proche de la normale
2002	277,9	0,6	Proche de la normale
2003	257,7	0,3	Proche de la normale

### Station 150101

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	642,5	1,9	Très humide
1971	441,3	0,2	Proche de la normale
1972	565,0	1,2	Modérément humide
1973	315,6	-0,9	Proche de la normale
1974	455,2	0,3	Proche de la normale
1975	275,6	-1,3	Modérément sec
1976	444,0	0,2	Proche de la normale
1977	375,1	-0,4	Proche de la normale
1978	344,5	-0,7	Proche de la normale
1979	397,8	-0,2	Proche de la normale
1980	553,2	1,1	Modérément humide
1981	235,7	-1,6	Très sec
1982	426,2	0,0	Proche de la normale
1983	252,2	-1,5	Très sec
1984	412,2	-0,1	Proche de la normale
1985	346,4	-0,7	Proche de la normale
1986	353,8	-0,6	Proche de la normale
1987	399,7	-0,2	Proche de la normale
1988	550,6	1,1	Modérément humide
1989	415,0	-0,1	Proche de la normale
1990	551,9	1,1	Modérément humide
1991	228,8	-1,7	Très sec
1992	306,5	-1,0	Modérément sec
1993	577,0	1,3	Modérément humide
1994	555,6	1,1	Modérément humide
1995	292,4	-1,1	Modérément sec
1996	369,8	-0,5	Proche de la normale
1997	436,0	0,1	Proche de la normale
1998	294,1	-1,1	Modérément sec
1999	453,1	0,3	Proche de la normale
2000	386,8	-0,3	Proche de la normale
2001	589,4	1,4	Modérément humide
2002	684,5	2,2	Extrêmement humide
2003	461,9	0,3	Proche de la normale

### Station 150115

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	483,8	0,9	Proche de la normale
1971	446,2	0,6	Proche de la normale
1972	561,7	1,7	Très humide
1973	415,6	0,3	Proche de la normale
1974	437,5	0,5	Proche de la normale
1975	243,1	-1,4	Modérément sec
1976	461,1	0,7	Proche de la normale
1977	304,0	-0,8	Proche de la normale
1978	362,3	-0,3	Proche de la normale
1979	418,5	0,3	Proche de la normale
1980	581,9	1,9	Très humide
1981	330,6	-0,6	Proche de la normale
1982	545,2	1,5	Très humide
1983	292,7	-0,9	Proche de la normale
1984	436,5	0,5	Proche de la normale
1985	421,6	0,3	Proche de la normale
1986	375,4	-0,1	Proche de la normale
1987	417,9	0,3	Proche de la normale
1988	461,5	0,7	Proche de la normale
1989	343,0	-0,4	Proche de la normale
1990	418,8	0,3	Proche de la normale
1991	206,9	-1,7	Très sec
1992	229,4	-1,5	Très sec
1993	482,3	0,9	Proche de la normale
1994	446,6	0,6	Proche de la normale
1995	206,8	-1,7	Très sec
1996	353,7	-0,3	Proche de la normale
1997	450,4	0,6	Proche de la normale
1998	156,2	-2,2	Extrêmement sec
1999	317,1	-0,7	Proche de la normale
2000	258,4	-1,3	Modérément sec
2001	438,2	0,5	Proche de la normale
2002	415,1	0,3	Proche de la normale
2003	501,6	1,1	Modérément humide

### Station 150204

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	438,7	1,2	Modérément humide
1971	393,5	0,8	Proche de la normale
1972	465,2	1,5	Très humide
1973	241,8	-0,7	Proche de la normale
1974	305,7	-0,1	Proche de la normale
1975	207,5	-1,0	Modérément sec
1976	300,2	-0,1	Proche de la normale
1977	263,7	-0,5	Proche de la normale
1978	277,2	-0,4	Proche de la normale
1979	330,2	0,2	Proche de la normale
1980	489,9	1,7	Très humide
1981	191,6	-1,2	Modérément sec
1982	406,5	0,9	Proche de la normale
1983	212,8	-1,0	Modérément sec
1984	331,3	0,2	Proche de la normale
1985	335,6	0,2	Proche de la normale
1986	316,3	0,0	Proche de la normale
1987	168,9	-1,4	Modérément sec
1988	388,9	0,7	Proche de la normale
1989	245,0	-0,7	Proche de la normale
1990	396,7	0,8	Proche de la normale
1991	150,9	-1,6	Très sec
1992	216,5	-0,9	Proche de la normale
1993	390,8	0,8	Proche de la normale
1994	447,4	1,3	Modérément humide
1995	194,2	-1,2	Modérément sec
1996	298,5	-0,1	Proche de la normale
1997	254,6	-0,6	Proche de la normale
1998	104,8	-2,0	Extrêmement sec
1999	372,5	0,6	Proche de la normale
2000	214,5	-1,0	Modérément sec
2001	361,6	0,5	Proche de la normale
2002	501,9	1,8	Très humide
2003	434,3	1,2	Modérément humide

## Station 150301

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	461,2	1,1	Modérément humide
1971	419,8	0,7	Proche de la normale
1972	513,5	1,7	Très humide
1973	328,7	-0,2	Proche de la normale
1974	371,6	0,2	Proche de la normale
1975	225,3	-1,3	Modérément sec
1976	380,7	0,3	Proche de la normale
1977	283,9	-0,7	Proche de la normale
1978	319,8	-0,3	Proche de la normale
1979	374,4	0,2	Proche de la normale
1980	535,9	1,9	Très humide
1981	261,1	-0,9	Proche de la normale
1982	475,9	1,3	Modérément humide
1983	252,8	-1,0	Modérément sec
1984	383,9	0,3	Proche de la normale
1985	378,6	0,3	Proche de la normale
1986	345,9	-0,1	Proche de la normale
1987	293,4	-0,6	Proche de la normale
1988	425,2	0,8	Proche de la normale
1989	294,0	-0,6	Proche de la normale
1990	407,8	0,6	Proche de la normale
1991	178,9	-1,8	Très sec
1992	223,0	-1,3	Modérément sec
1993	436,6	0,9	Proche de la normale
1994	447,0	1,0	Modérément humide
1995	200,5	-1,5	Très sec
1996	326,1	-0,3	Proche de la normale
1997	352,5	0,0	Proche de la normale
1998	130,5	-2,2	Extrêmement sec
1999	344,8	-0,1	Proche de la normale
2000	236,5	-1,2	Modérément sec
2001	399,9	0,5	Proche de la normale
2002	458,5	1,1	Modérément humide
2003	468,0	1,2	Modérément humide

## Station 150401

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	345,2	0,7	Proche de la normale
1971	346,1	0,7	Proche de la normale
1972	443,4	1,9	Très humide
1973	306,1	0,3	Proche de la normale
1974	283,9	0,0	Proche de la normale
1975	195,4	-1,0	Modérément sec
1976	289,8	0,1	Proche de la normale
1977	258,5	-0,3	Proche de la normale
1978	226,7	-0,6	Proche de la normale
1979	226,2	-0,7	Proche de la normale
1980	499,4	2,5	Extrêmement humide
1981	183,1	-1,2	Modérément sec
1982	450,6	1,9	Très humide
1983	171,4	-1,3	Modérément sec
1984	282,7	0,0	Proche de la normale
1985	346,8	0,7	Proche de la normale
1986	265,9	-0,2	Proche de la normale
1987	232,0	-0,6	Proche de la normale
1988	257,2	-0,3	Proche de la normale
1989	217,4	-0,8	Proche de la normale
1990	308,9	0,3	Proche de la normale
1991	223,5	-0,7	Proche de la normale
1992	141,5	-1,6	Très sec
1993	187,8	-1,1	Modérément sec
1994	421,5	1,6	Très humide
1995	222,2	-0,7	Proche de la normale
1996	266,2	-0,2	Proche de la normale
1997	272,8	-0,1	Proche de la normale
1998	168,8	-1,3	Modérément sec
1999	304,2	0,2	Proche de la normale
2000	212,5	-0,8	Proche de la normale
2001	304,6	0,3	Proche de la normale
2002	423,3	1,6	Très humide
2003	331,9	0,6	Proche de la normale

### Station 150402

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	427,3	1,0	Modérément humide
1971	395,3	0,7	Proche de la normale
1972	519,5	2,0	Extrêmement humide
1973	312,3	-0,2	Proche de la normale
1974	354,2	0,2	Proche de la normale
1975	212,6	-1,3	Modérément sec
1976	365,2	0,3	Proche de la normale
1977	266,1	-0,7	Proche de la normale
1978	264,9	-0,7	Proche de la normale
1979	333,0	0,0	Proche de la normale
1980	546,4	2,3	Extrêmement humide
1981	216,8	-1,3	Modérément sec
1982	493,3	1,7	Très humide
1983	225,6	-1,2	Modérément sec
1984	340,2	0,1	Proche de la normale
1985	383,2	0,5	Proche de la normale
1986	312,2	-0,2	Proche de la normale
1987	285,5	-0,5	Proche de la normale
1988	359,7	0,3	Proche de la normale
1989	272,0	-0,7	Proche de la normale
1990	380,3	0,5	Proche de la normale
1991	214,6	-1,3	Modérément sec
1992	206,9	-1,4	Modérément sec
1993	358,2	0,3	Proche de la normale
1994	440,4	1,1	Modérément humide
1995	202,5	-1,4	Modérément sec
1996	317,2	-0,2	Proche de la normale
1997	343,0	0,1	Proche de la normale
1998	174,8	-1,7	Très sec
1999	351,1	0,2	Proche de la normale
2000	255,3	-0,8	Proche de la normale
2001	386,0	0,6	Proche de la normale
2002	473,7	1,5	Très humide
2003	379,4	0,5	Proche de la normale

### Station 150501

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	475,5	1,0	Modérément humide
1971	419,9	0,5	Proche de la normale
1972	601,5	2,1	Extrêmement humide
1973	302,2	-0,6	Proche de la normale
1974	407,2	0,3	Proche de la normale
1975	217,0	-1,4	Modérément sec
1976	425,2	0,5	Proche de la normale
1977	255,8	-1,0	Modérément sec
1978	248,3	-1,1	Modérément sec
1979	398,5	0,3	Proche de la normale
1980	603,9	2,1	Extrêmement humide
1981	206,2	-1,5	Très sec
1982	553,3	1,7	Très humide
1983	252,7	-1,1	Modérément sec
1984	354,0	-0,1	Proche de la normale
1985	424,1	0,5	Proche de la normale
1986	324,9	-0,4	Proche de la normale
1987	331,1	-0,3	Proche de la normale
1988	396,6	0,2	Proche de la normale
1989	304,7	-0,6	Proche de la normale
1990	424,1	0,5	Proche de la normale
1991	241,5	-1,2	Modérément sec
1992	256,2	-1,0	Modérément sec
1993	450,1	0,7	Proche de la normale
1994	452,6	0,8	Proche de la normale
1995	184,8	-1,7	Très sec
1996	359,2	-0,1	Proche de la normale
1997	403,8	0,3	Proche de la normale
1998	225,2	-1,3	Modérément sec
1999	404,3	0,3	Proche de la normale
2000	317,0	-0,5	Proche de la normale
2001	453,4	0,8	Proche de la normale
2002	539,2	1,5	Très humide
2003	338,2	-0,3	Proche de la normale

### Station 150602

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	508,6	0,7	Proche de la normale
1971	525,3	0,8	Proche de la normale
1972	758,7	2,6	Extrêmement humide
1973	343,7	-0,6	Proche de la normale
1974	245,8	-1,4	Modérément sec
1975	558,2	1,0	Modérément humide
1976	683,1	2,0	Extrêmement humide
1977	517,6	0,7	Proche de la normale
1978	351,3	-0,5	Proche de la normale
1979	418,1	0,0	Proche de la normale
1980	323,3	-0,8	Proche de la normale
1981	478,4	0,4	Proche de la normale
1982	315,0	-0,8	Proche de la normale
1983	375,4	-0,4	Proche de la normale
1984	492,5	0,5	Proche de la normale
1985	333,9	-0,7	Proche de la normale
1986	421,2	0,0	Proche de la normale
1987	273,1	-1,1	Modérément sec
1988	330,3	-0,7	Proche de la normale
1989	237,5	-1,4	Modérément sec
1990	450,3	0,2	Proche de la normale
1991	454,5	0,2	Proche de la normale
1992	380,9	-0,3	Proche de la normale
1993	278,5	-1,1	Modérément sec
1994	440,8	0,1	Proche de la normale
1995	537,4	0,9	Proche de la normale
1996	258,5	-1,3	Modérément sec
1997	532,9	0,8	Proche de la normale
1998	436,3	0,1	Proche de la normale
1999	336,1	-0,7	Proche de la normale
2000	334,4	-0,7	Proche de la normale
2001	252,0	-1,3	Modérément sec
2002	709,6	2,2	Extrêmement humide
2003	474,6	0,4	Proche de la normale

### Station 150708

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1970	553,4	0,2	Proche de la normale
1971	851,1	2,4	Extrêmement humide
1972	714,5	1,4	Modérément humide
1973	606,8	0,6	Proche de la normale
1974	389,6	-0,9	Proche de la normale
1975	740,7	1,6	Très humide
1976	598,4	0,6	Proche de la normale
1977	411,6	-0,8	Proche de la normale
1978	447,5	-0,5	Proche de la normale
1979	442,0	-0,6	Proche de la normale
1980	582,0	0,4	Proche de la normale
1981	525,1	0,0	Proche de la normale
1982	506,9	-0,1	Proche de la normale
1983	268,9	-1,8	Très sec
1984	615,8	0,7	Proche de la normale
1985	516,4	0,0	Proche de la normale
1986	585,8	0,5	Proche de la normale
1987	385,7	-1,0	Modérément sec
1988	455,7	-0,5	Proche de la normale
1989	439,5	-0,6	Proche de la normale
1990	433,9	-0,6	Proche de la normale
1991	489,6	-0,2	Proche de la normale
1992	469,4	-0,4	Proche de la normale
1993	346,4	-1,2	Modérément sec
1994	541,7	0,2	Proche de la normale
1995	640,0	0,9	Proche de la normale
1996	384,7	-1,0	Modérément sec
1997	772,9	1,8	Très humide
1998	509,8	-0,1	Proche de la normale
1999	436,4	-0,6	Proche de la normale
2000	330,0	-1,4	Modérément sec
2001	306,3	-1,5	Très sec
2002	781,2	1,9	Très humide
2003	596,9	0,6	Proche de la normale

## Annexe n°2 :

## Classifications des valeurs SPI pour différentes stations pluviométriques

