

Higher National School of Hydraulic

The Library

Digital Repository of ENSH



المدرسة الوطنية العليا للري

المكتبة

المستودع الرقمي للمدرسة العليا للري



The title (العنوان):

**Etude de la sécheresse, cas du bassin versant de la Soummam.**

The paper document Shelf mark (الشفرة) : 6-0024-16

APA Citation ( APA توثيق ):

**Ram dini, Meriem (2016). Etude de la sécheresse, cas du bassin versant de la Soummam[Thèse de master, ENSH].**

The digital repository of the Higher National School for Hydraulics "Digital Repository of ENSH" is a platform for valuing the scientific production of the school's teachers and researchers.

Digital Repository of ENSH aims to limit scientific production, whether published or unpublished (theses, pedagogical publications, periodical articles, books...) and broadcasting it online.

Digital Repository of ENSH is built on the open DSpace software platform and is managed by the Library of the National Higher School for Hydraulics. <http://dspace.ensh.dz/jspui/>

المستودع الرقمي للمدرسة الوطنية العليا للري هو منصة خاصة بثمين الإنتاج العلمي لأساتذة و باحثي المدرسة.

يهدف المستودع الرقمي للمدرسة إلى حصر الإنتاج العلمي سواء كان منشورا أو غير منشور (أطروحات، مطبوعات بيداغوجية، مقالات الدوريات، كتب....) و بنه على الخط.

المستودع الرقمي للمدرسة مبني على المنصة المفتوحة DSpace و يتم إدارته من طرف مديرية المكتبة للمدرسة العليا للري.

كل الحقوق محفوظة للمدرسة الوطنية العليا للري.

**DEPARTEMENT Hydraulique urbaine**

## **MEMOIRE DE MASTER**

*En vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique*

**Option: Assainissement**

**THEME :**

**ETUDE DE LA SECHERESSE, CAS DU BASSIN  
VERSANT DE LA SOUMMAM**

**PRESENTE PAR :**

**M<sup>elle</sup> RAMDINI Meriem**

**Devant les membres du jury**

<b>Nom et Prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
M <sup>me</sup> MEDDI Hind	M.C.A	Présidente
M <sup>r</sup> AMMARI Abdelhadi	M.C.B	Examineur
M <sup>me</sup> HOULI Samia	M.A.A	Examineur
M <sup>r</sup> BOUFEKANE Abdelmadjid	M.A.A	Examineur
M <sup>me</sup> SALHI Chahrazad	M.A.B	Promotrice

**Session 2016**

# Remerciements

*Je rends grâce à dieu le surpuissant pour m'avoir donné la force  
et les moyens afin de terminer ce travail*

*Je remercie aussi tous les enseignants de l'FNST  
particulièrement Mr AMAR.*

*Je tiens à remercier particulièrement madame SAÏDI pour  
ses orientations et pour le temps qu'elle m'a accordé*

*Je remercie chaleureusement FATMA Zohra pour son  
aide.*

*Je remercie mon ange gardien Yasser qui m'a aidé pour  
l'élaboration de ce travail et qui m'a soutenu moralement.*

*Je vous remercie tous*

# *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail en signe de  
reconnaissance à :*

*-Ma famille, et surtout ma chère mère qui m'a  
toujours encouragé*

*A tous mes amis*

*Meriem Ben*

## ملخص

الجفاف هو جزء من الظواهر المناخية القصوى، يترتب عنه نتائج اجتماعية، اقتصادية و بيئية خطيرة. يتعلق هذا العمل بدراسة تطور الجفاف بين سنة 1980 و سنة 2011، و أيضا أقلمة الجفاف في الحوض المائي للصومام. يتم استعمال المؤشر المعياري للهطول و تحليل العنصر الرئيسي في فهم أهمية التطور الزماني و المكاني للجفاف على مستوى جميع الحوض المائي، و قد أثبتت هذه الطرق جدارتها كمؤشرات جيدة لهذه الظاهرة. لقد قادنا المؤشر المعياري للهطول لاستنتاج أن 2001 هي السنة الأكثر تضررا بالجفاف، في حين أن 2002 هي السنة الأقل تضررا بالجفاف. لفهم مدى انتشار هذه الظاهرة، مكننا تحليل العنصر الرئيسي من ملاحظة أن الجفاف يكثف من الشمال الى الجنوب، في اتجاه انخفاض هطول الأمطار. من هذا يمكننا الاستنتاج أن المناطق الأكثر عرضة للخطر هي المناطق الأقل سقاية من طرف الحوض. يمكننا هذا من أخذ فكرة عامة عن السيناريوهات المناخية الماضية و المستقبلية للصومام.

## Résumé

Les sécheresses font partie des phénomènes météorologiques extrêmes, elles engendrent de graves conséquences sociales, économiques et environnementales.

Ce travail porte sur une étude d'évolution de la sécheresse entre les périodes 1980 et 2011, ainsi que la régionalisation de la sècheresse dans le bassin versant de la Soummam.

L'Indice standardisée de précipitation et l'analyse en composantes principales sont utilisés pour comprendre l'importance et l'évolution temporelle et spatiale de la sécheresse sur l'ensemble du bassin, ces méthodes ont fait leurs preuves comme indicateurs intéressants du phénomène.

L'SPI nous a amenés à conclure que L'année 2001 est l'année la plus touchée par la sécheresse, tandis que l'année 2002 est l'année la moins touchée par la sècheresse.

Afin de comprendre l'étendu du phénomène, l'ACP a permis d'observer que la sécheresse s'intensifie allant du nord vers le sud, dans le sens de la décroissance des précipitations. De ce fait on peut conclure que les zones les plus vulnérables sont celles qui sont les moins arrosées du bassin. Cela nous permettra d'avoir une idée globale sur les scénarios climatiques passés et futures de la Soummam.

## **Abstract**

Droughts are part of extreme weather events; they create serious social, economic and environmental consequences.

This work deals with an evolution of the drought study periods between 1980 and 2011, as well as the regionalization of drought in the watershed of Soummam.

The standardized precipitation index and the principal component analysis are used to understand the importance and the temporal and spatial evolution of the drought on the whole watershed, these methods have proven as useful indicators of the phenomenon.

The SPI has led us to conclude that 2001 was the year the most affected by drought, while 2002 was the year the least affected by drought.

To understand the extent of the phenomenon, the PCA allowed observing that the drought intensifies from north to south, in the direction of the decrease in rainfall. Thus we can conclude that the most vulnerable areas are those that are the least watered from the watershed. This will allow us to have an overall idea about past and future climate scenarios of Soummam.

# Sommaire

## Chapitre I : Recherche bibliographique

Introduction générale.....	5
Introduction : .....	7
I) Le Climat et les changements climatiques:.....	7
1) Le changement climatique : .....	8
2) Les effets du changement climatique :.....	8
II) La sécheresse : .....	9
1) Définition de la sécheresse :.....	9
2) Les types de sécheresse :.....	9
3) Relation entre les différents types de sécheresse : .....	10
4) Conséquences et impact de la sécheresse :.....	11
5) Quelques études réalisées sur la sécheresse en Algérie : .....	12
Conclusion :.....	13

## Chapitre II : Outils et méthodes

Introduction :.....	15
Partie I : Présentation de la zone d'étude .....	15
1) Situation géographique :.....	15
2) Relief et hydrographie du bassin versant : .....	15
3) Situation climatique : .....	18
4) Géologie :.....	19
5) Traitement des données pluviométrique : .....	20
Partie II : Méthodes utilisées.....	25
1) Indice standardisé de précipitations SPI :.....	25
2) Analyse en composante principale ACP :.....	26
Conclusion :.....	27

## Chapitre III : Résultats et discussion

Introduction :.....	29
1) Indice standardisé de précipitation SPI :.....	29
2) Analyse en composante principales :.....	37

Conclusion :.....	42
Conclusion générale .....	43
Références bibliographiques .....	44
Annexes .....	45

## Liste des tableaux

### Chapitre I : Recherche bibliographique

.....

### Chapitre II : Outils et méthodes

<b>Tableau II.01</b> : Températures moyennes mensuelles.....	18
<b>Tableau II.02</b> : Humidité relative (en %) enregistrée en 2003.....	19
<b>Tableau II.03</b> : Coordonnées des stations pluviométriques.....	20
<b>Tableau II.04</b> : Résultat du test d'homogénéité.....	23
<b>Tableau II.05</b> : Résultats du test d'adéquation de khi2.....	24
<b>Tableau II.06</b> : Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI.....	25

### Chapitre III : Résultats et discussion

<b>Tableau III.01</b> : Classification des indices SPI.....	33
<b>Tableau III.02</b> : Taux d'années sèches et d'années humides pour chaque station sur une période de 32 ans.....	33
<b>Tableau III.03</b> : Répartition annuelle des SPI.....	35
<b>Tableau III.04</b> : Années normales, humides et sèches pour chaque station.....	36
<b>Tableau III.05</b> : Pourcentage de la variance de l'A.C.P .....	38
<b>Tableau III.06</b> : Projection des variables sur les axes principaux.....	39

# Liste des figures

## Chapitre I : Recherche bibliographique

**Figure I.01** : Relation entre les différents types de sécheresse (Source : Centre national de lutte Contre la sécheresse, Université du Nebraska–Lincoln, États-Unis d’Amérique).....10

## Chapitre II : Outils et méthodes

**Figure II.01** : Situation géographique.....16

**Figure II.02** : Réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam.....17

**Figure II.03** : Répartitions des stations pluviométriques sur un extrait de la carte du réseau hydrographique de l’ANRH Avec une échelle de 1/500 000.....21

**Figure II.04** : Graphe représentant la première régression linéaire.....22

**Figure II.05** : Graphe représentant la deuxième régression linéaire.....22

## Chapitre III : Résultats et discussion

**Figure III.01** : Classification des valeurs des SPI.....29

**Figure III.02** : Comportement des variations des classes pour chaque station.....37

**Figure III.03** : Fréquence des classes pour tous les enregistrements.....37

**Figure III.04** : Projection des variables sur un plan C1\*C2.....39

**Figure III.05** : Représentations des deux groupes de stations.....40

**Figure III.06** : Présentation physique du cercle de corrélation.....41

**Figure III.07** : Distribution des années sur les deux axes C1 et C2.....42

# Liste des annexes

**Annexe n°1** : Table du PEARSON

**Annexe n°2** : Graphes d'ajustement à la loi normale avec le logiciel Hyfran pour les différentes stations

**Annexe n°3** : Calcul et classification des SPI

# Introduction générale

Aujourd'hui, les questions du changement climatique ou du réchauffement global de la terre font l'objet d'une attention considérable de la part de divers chercheurs du monde entier. Scientifiques, décideurs et gouvernements du monde entier cherchent à comprendre la nature des changements et des défis auxquels ils doivent faire face.

L'effet du réchauffement climatique ne fait qu'augmenter par l'apparition des phénomènes météorologiques extrêmes (par exemple, les inondations, les sécheresses et les tempêtes de pluie). Le phénomène extrême auquel s'intéresse ce travail est celui de la sécheresse vue qu'il est exceptionnel par rapport aux autres phénomènes du fait qu'il s'installe lentement et se développe au cours des mois voire même des années ; de plus le phénomène de la sécheresse sévit ses dernières années, et ses impacts sociaux, économiques et environnementaux s'exacerbent d'avantage.

En Algérie au nord-ouest du pays, plusieurs études ont été élaborées vue que le phénomène de la sécheresse est très fréquent, cela n'exclue en aucun cas l'exposition de la partie nord orientale au phénomène.

Ce travail a comme objectif de faire l'étude de la sécheresse dans le bassin versant de la Soummam situé au nord-est du pays, il se décline sous trois chapitres :

Le premier chapitre, donne un aperçu bibliographique général sur la sécheresse, et cite quelques études analogues réalisées en Algérie.

Le second chapitre se départage en deux parties principales : la première partie expose les caractéristiques et différentes données nécessaires de la zone d'étude en mettant un accent sur la pluviométrie en indiquant la méthode de comblement des séries pluviométriques, la deuxième partie s'intéresse à la présentation des méthodes et modèles utilisés pour réaliser ce travail, l'indice de précipitation standardisé (SPI) et l'analyse en composantes principales (ACP).

Pour mettre un terme à ce travail, le troisième chapitre mettra en évidence l'application des modèles cités dans le second chapitre et exposera les différents résultats obtenus ainsi les interprétations et les conclusions aboutis.

# **Chapitre I**

## **Recherche bibliographique**

**Introduction :**

Depuis le début de la révolution industrielle, l'impact des activités humaines sur l'environnement est devenu de plus en plus important, altérant l'équilibre climatique et ayant ainsi des effets sur les précipitations.

Les conséquences de ces changements climatiques se manifestent par des pics de température, des sécheresses, des inondations ainsi qu'une élévation du niveau de la mer. Aujourd'hui, les changements climatiques sont considérés comme l'une des plus grandes menaces sur l'environnement et le bien-être humain.

La première partie de ce chapitre consiste à présenter des généralités concernant le sujet du changement climatique. La seconde partie a comme objectif de mettre en évidence la sécheresse en présentant les différentes études et travaux effectués sur ce sujet puisqu'il représente un phénomène d'actualité mais également l'une des conséquences la plus dominante des changements climatiques.

**I) Le Climat et les changements climatiques:**

Le climat définit et explique les conditions de l'atmosphère d'un lieu à moyen et long terme alors que la météorologie s'intéresse au court terme et notamment aux prévisions sur quelques jours. La climatologie étudie les composantes et les variations des climats sur la surface de la terre. Le climat est une succession de type de temps avec des caractères relativement constants mesurés sur trente ans. La climatologie se préoccupe alors davantage des facteurs géographiques (répartition des terres et des mers, volumes de relief...) pour expliquer les irrégularités et définir différents types de climat.

**L'effet de serre comme phénomène naturel :**

Dans l'atmosphère (qui entoure la Terre) on retrouve une couche de gaz : les gaz à effet de serre. Cette couche de gaz agit comme les fenêtres d'une serre et capte la chaleur du soleil. Les rayons du soleil traversent cette couche de gaz et s'en vont réchauffer la surface de la Terre. La surface de la Terre, ainsi réchauffée, réémet des radiations vers l'atmosphère. Toutefois, la couche de gaz à effet de serre absorbe une grande quantité de ces radiations, les empêchant de retourner dans l'espace. Ceci augmente la température à la surface de la Terre en assurant une température moyenne globale de 15°C, Sans l'effet de serre, la température à la surface de la Terre serait de -18°C. (Pruneau et al, 2004).

Depuis l'ère industrielle, les êtres humains ont augmenté la concentration des gaz à effet de serre, dans l'atmosphère, en raison de diverses activités : la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel, la déforestation, la présence d'anciens dépotoirs et d'autres activités. Cette augmentation des gaz à effet de serre épaissit la couche de gaz qui capte alors plus de radiations, élevant ainsi la température globale à la surface de la Terre. Les scientifiques ont remarqué une augmentation de la température globale de 0,60C au cours du siècle dernier. Cette variation de la température, qui est très rapide, comparativement aux changements déjà arrivés sur Terre de façon naturelle, entraîne le changement climatique (ADEME, 2015).

### 1) Le changement climatique:

Les changements climatiques se réfèrent à des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (GIEC, 2007).

### 2) Les effets du changement climatique : (Antipolis, 2008)

La Méditerranée, en particulier la rive Sud et Est, est et sera plus touchée par le changement climatique que la plupart des autres régions du monde au cours du 21<sup>ème</sup> siècle. Les impacts du changement climatique sont :

- La hausse des températures,
- La diminution des précipitations,
- L'augmentation du nombre et de l'intensité des événements extrêmes
- La hausse possible du niveau de la mer

Tous ces impacts se superposent et amplifient les pressions liées aux activités humaines déjà existantes sur l'environnement naturel.

Les répercussions de ces impacts sur l'environnement sont les suivantes (CIHEAM, juin 2004) :

- La diminution de la mobilisation des eaux de surface due à une baisse du ruissellement superficiel et à une fréquence de plus en plus grande des périodes de sécheresse.
- La dégradation accélérée des sols par l'accroissement de l'érosion hydrique et éolienne, et leur salinisation due à une plus forte évaporation doublée d'une baisse des pluies.
- L'occurrence et l'intensité de plus en plus grande des inondations.
- La surexploitation des nappes d'eau souterraines.
- L'élévation du niveau de la mer.
- L'accentuation de la vulnérabilité des cultures pluviales provoquée par une augmentation de l'évapotranspiration et une disponibilité plus faible des eaux de précipitations.

## II) La sécheresse:

### 1) Définition de la sécheresse :

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

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

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

### 2) Les types de sécheresse:

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

- **La sécheresse de type météorologique :**

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

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

- **La sécheresse de type agricole :**

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

- **La sécheresse de type hydrologique :**

Elle correspond à une diminution des réserves d'eau dans les cours d'eau, les réservoirs de surface et la nappe phréatique. La sécheresse hydrologique est causée par un manque de précipitations accompagné d'une évaporation massive. Cependant, des facteurs non

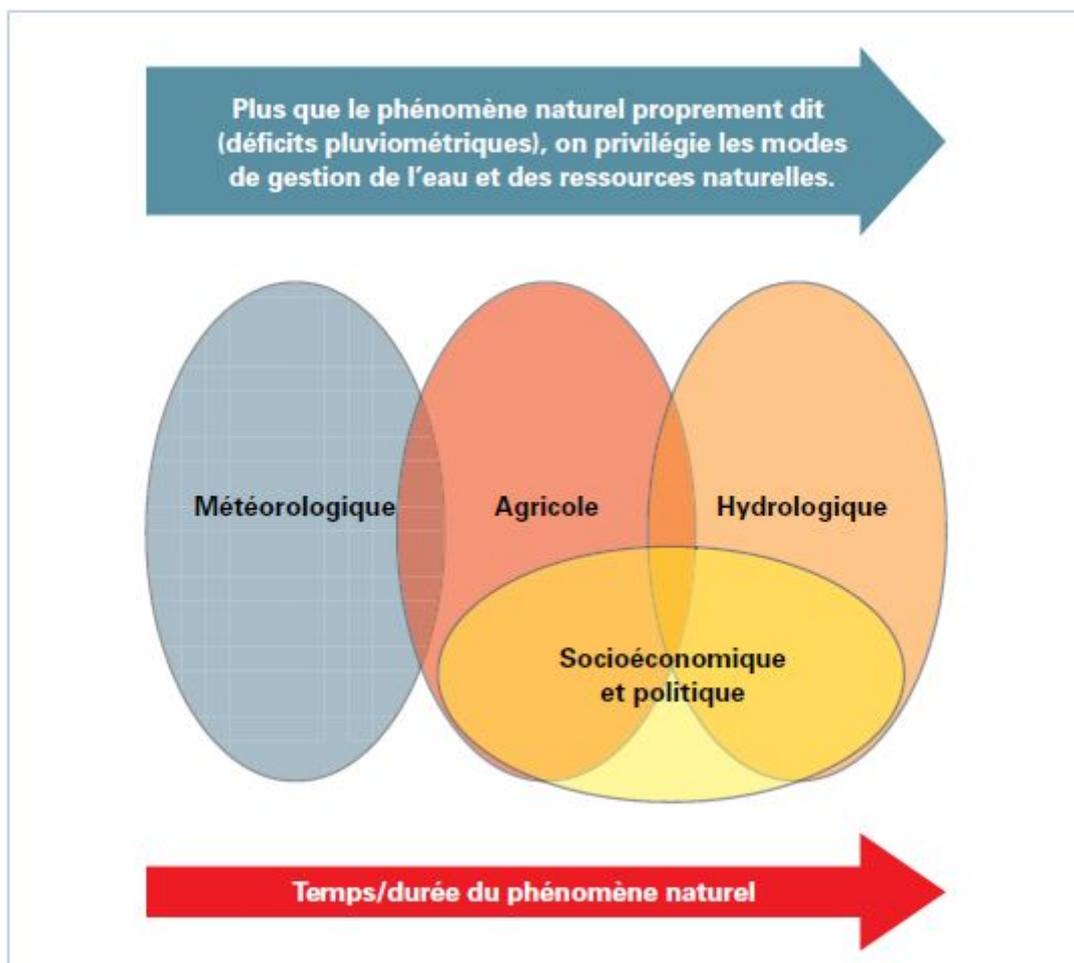
météorologiques, comme la demande en eau, la disponibilité de réservoirs de surface et le forage de puits artésiens, en aggravent l'effet (OMM, 2006).

- **La sécheresse socio-économique :**

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

### 3) Relation entre les différents types de sécheresse :

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



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

- 4) **Conséquences et impact de la sécheresse :**
- **Conséquence sur la qualité de la ressource :**
  - ✓ **Risque accru de la pollution :**

La moindre capacité de dilution des rejets ponctuels (qui peuvent être importants dans les zones touristiques) ou accidentels par la faiblesse des débits augmente l'impact des rejets dans le milieu.

- ✓ **Augmentation des températures de l'eau :**

Dégradation de la qualité physicochimique des milieux et diminution de l'oxygène dissous, nécessaire à la vie aquatique.

- ✓ **Aggravation des conséquences de l'eutrophisation des plans d'eau :**

Le manque d'oxygène entraîne une libération de phosphore et d'azote contenus dans le sédiment, ce qui amène la prolifération de nouvelles algues. L'eutrophisation altère les conditions de reproduction et d'alimentation des poissons, favorise le développement des algues filamenteuses qui dégrade la qualité des herbiers (lieux d'abri) et engendre une diminution de la transparence. La baignade peut alors être interdite pour raison de sécurité.

- **Conséquences économiques :**
- ✓ **Irrigation :**

Pertes économiques importantes (rendements en forte baisse si apport d'eau insuffisant). Les pertes d'une exploitation type de la région Midi-Pyrénées sont estimées à 54% de son profit lorsqu'elle est touchée par les interdictions d'irrigation.

- ✓ **Elevage :**

Crise fourragère, augmentation des prix des aliments pour le cheptel. Certains éleveurs réduisent le nombre de bêtes pour pouvoir les nourrir. Problème d'alimentation en eau du bétail possible dans certaines zones.

- ✓ **Tourisme :**

Altération de la qualité des eaux de baignade (turbidité, développement d'algues, de cyanobactéries), côtes des plans d'eau insuffisantes avec problème d'accès aux plages, réduction des activités nautiques et annulation de manifestations de sport d'eau vive (Kayak).

- ✓ **Industrie :**

Arrêt partiel ou total d'activité, en particulier pour les entreprises utilisatrices d'eau implantées sur des ressources déficitaires.

✓ **Activités aquacoles et halieutiques :**

Les activités de pêche sont réduites et l'équilibre des milieux littoraux supports des productions conchylicoles est fragilisé. Le risque de mortalités s'accroît et peut entraîner des pertes de production.

• **Conséquences sociales :**

La limitation des usages (arrosage des jardins, lavage des voitures, arrosage des terrains de sport) peut engendrer des conflits d'usage importants sur les secteurs les plus touchés : actes de malveillance, manifestations, voire des différends pour l'accès à l'eau qui se règlent « à coup de fusil » comme pendant la sécheresse de 1989-1990.

• **Conséquences sur la santé :**

Risque de rupture d'approvisionnement pour les prélèvements en eaux superficielles. Ce point fait l'objet d'une vigilance particulière de la part des préfetures qui peuvent demander une limitation de la consommation de la part des collectivités et des usagers.

**5) Quelques études réalisées sur la sécheresse en Algérie :**

**DECHEMI N. et BERMAD A. et HAMRICHE A. 1994.** Les auteurs ont fait une simulation des débits moyens mensuels en zone semi-aride (barrage de Beni-Bahdel), par l'application d'une analyse en composantes principales (A.C.P) et cela dans l'objectif de faire une bonne gestion des ressources en eau. Les sept premières composantes principales ont été retenue expliquant une variance de 89%, le résidu représente la perte de l'information dû à la négligence des autres composantes principales ; les résidus ont été analysé à l'aide des chaines de Markov. La simulation a abouti à des séries synthétiques utilisées donne la gestion des ressources en eau ces séries ont donné des résultats satisfaisant et ont montré la fiabilité de la méthode.

**KETTAB A. et al., 2004.** Les auteurs ont étudié le phénomène de la sécheresse dans les régions littorales de l'Algérie à l'aide de 08 stations météorologiques (Ghazaouat, Oran, Arzew, Alger, Chlef, Skikda, Annaba et El kala) qui couvrent 48 ans d'observations pluviométriques annuelles et mensuelles (de 1954 à 2001). Les méthodes utilisées sont les estimations par le modèle Jack Nife et par Bootstrap. L'utilisation de ces simulations a permis d'illustrer clairement l'information chronologique des pluies à l'échelle temporelle et font distinguer deux périodes ; la période humide qui s'étale de 1954 à 1986 et la période sèche qui correspond à la dernière décennie (1990-2000). Selon ces deux méthodes, le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest (notamment à Oran, Ghazaouat et Arzew), les régions du Centre et de l'Ouest ont vu un déficit pluviométrique supérieur à 50% et à l'Est, il était de 30%, durant la période (1987-2001).

**ACHITE M. et TOUAIBIA B., 2007.** Les auteurs ont examiné les crues et les déficits pluviométriques au niveau du bassin versant de l'oued Mina, par la méthode de l'analyse en composantes principale (A.C.P) qui sert à optimiser les données pluviométriques annuelles et reconstituer les séries hydrologiques, sur une période d'étude de 30 ans (allant 1970/71 à 1999/00). Les résultats ainsi obtenus sur le comportement de la pluie moyenne sur la première composante principale mettent en évidence une période excédentaire allant de 1970/71 à 1980/81, puis une période déficitaire de 1981/82.

**MEDDI H, MEDDI M, 2007.** L'étude faite par les auteurs concerne le Nord-Ouest de l'Algérie. La méthode utilisée est le modèle numérique PLUVIA, qui permet l'établissement de la carte de la répartition spatiale de la pluviométrie à l'échelle mensuelle. Cette technique a permis de tracer les cartes pluviométriques des mois de janvier, mars et novembre en fonction de la topographie. L'avantage de cette méthode montre l'influence des paramètres topographiques sur la distribution spatiale des pluies à l'échelle régionale et locale. Les résultats obtenus montrent que, les pluies mensuelles augmentent du sud au nord et de l'ouest à l'est. La partie littorale et les sommets qui lui sont proches reçoivent les pluies les plus importantes et les régions intérieures reçoivent moins de pluies du fait de l'appauvrissement des masses nuageuses de leurs humidités au fur et à mesure qu'elles se dirigent vers l'intérieur.

### **Conclusion :**

Cette étude bibliographique a permis de donner un aperçu général sur les différentes études faites en Algérie pour étudier le phénomène de la sécheresse. On constate que toutes les études ont fini par constater que la sécheresse reste une menace majeure pour la ressource en eau et ses fréquences de répétitions ces dernières années font craindre le pire.

# **Chapitre II**

## **Outils et méthodes**

**Introduction :**

Le présent chapitre est composé de deux parties principales une présentation du bassin versant de la Soummam, qui donne un aperçu général sur les caractéristiques du bassin et mets en valeurs les différentes données qui seront utilisées dans la seconde partie du chapitre qui représente une application de deux modèles :

SPI (Indice normalisé de précipitations) : dont l'objectif est de faire une étude temporelle de la sécheresse dans la zone d'étude.

ACP (Analyse de composantes principales) : dont l'objectif est de faire une régionalisation de la sécheresse dans le bassin versant.

**Partie I : Présentation de la zone d'étude****1) Situation géographique:**

Le bassin versant de la Soummam (Figure II.01) 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, Kébir Rhumel 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.

La superficie totale du bassin de la Soummam est de 9125 Km<sup>2</sup>.

**2) Relief et hydrographie du bassin versant :**

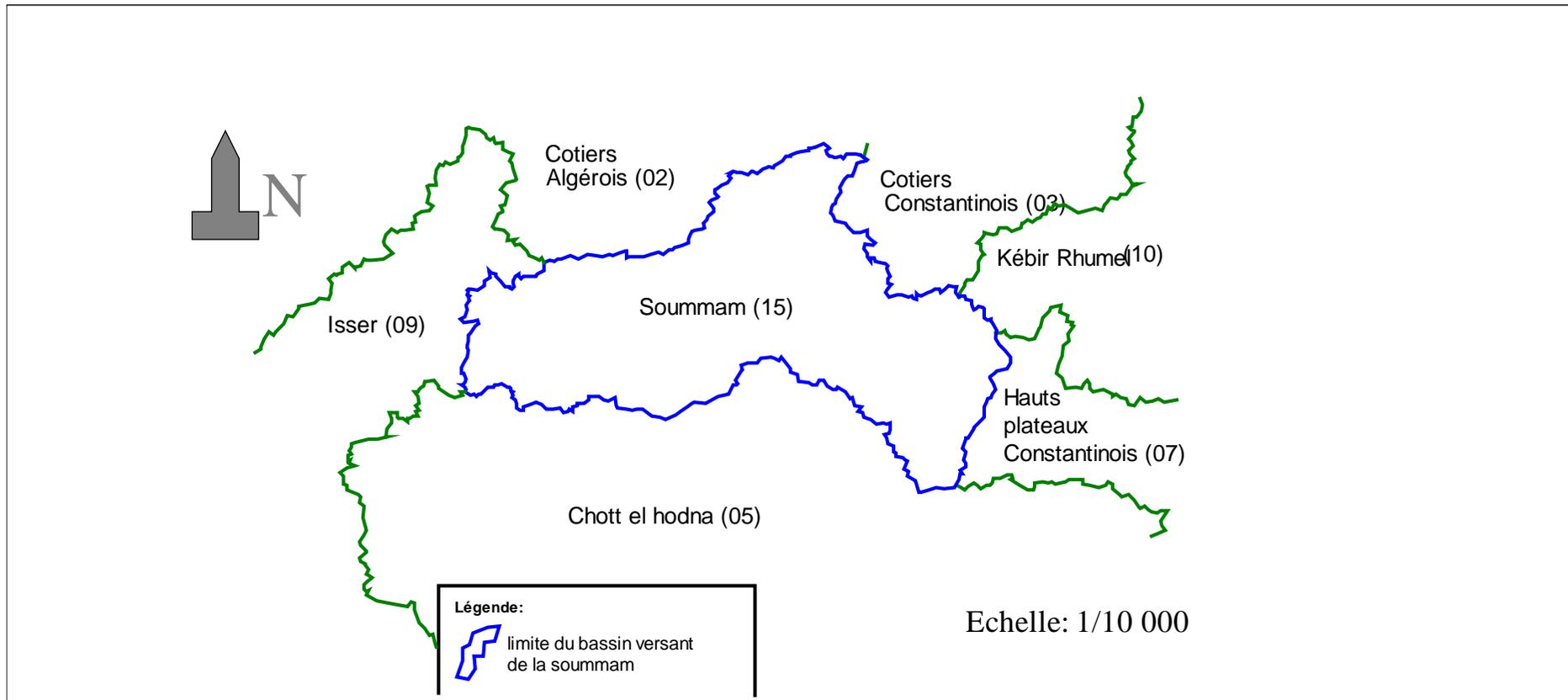
De Bouira à Akbou, la chaîne de Djurdjura n'est en aucun endroit inférieur à 1500 m, d'Akbou en allant vers La mer, la hauteur diminue graduellement.

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

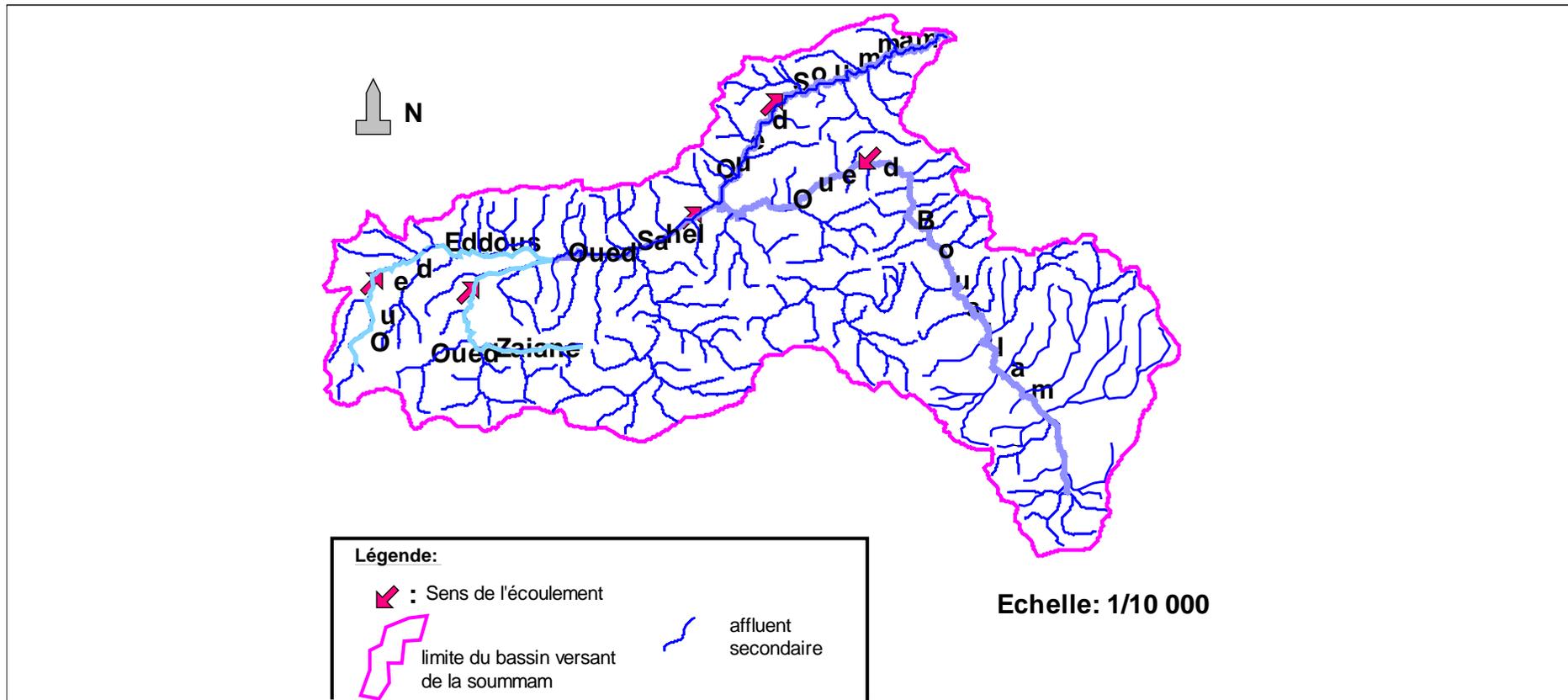
Le Sahel affluent venant du nord-ouest, le Bousellam venant du nord-est, la Soummam qui se forme à Akbou au confluent du Sahel et de Bousellam et coule du nord-est vers la mer.

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.02).



**Figure II.01 : Situation géographique**



**Figure II.02 :** Réseau hydrographique du bassin versant de la Soummam

### 3) Situation climatique :

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.01. La période d'observation est de 1993 à 2003.

**Tableau II.01 : Températures moyennes mensuelles**

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	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 tableau II.01, 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 tableau II.02 présente l'humidité relative des 4 stations.

**Tableau II.02 :** Humidité relative (en %) enregistrée en 2003

Station	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fèv	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août
Bouira	91	87	79	77	75	50	45	48	67	78	81	86
Béjaïa	78	77	79	82	82	72	73	70	79	81	77	76
B.B.A	78	78	70	68	59	43	32	40	56	73	72	79
Sétif	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)

**4) Géologie :**

Le bassin versant de la Soummam est un bassin structurel et stratéique 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.

### 5) Traitement des données pluviométrique :

Onze (11) stations pluviométriques ont été recueillies auprès de l'ANRH (Tableau II.03) s'étalant sur une période de 32 ans de 1980 à 2011, elles sont réparties d'une manière homogène sur l'ensemble du bassin versant (Figure II.03).

#### ➤ Comblement de lacunes :

Les stations choisies sont les stations moins lacunaires, et ayant une possibilité de comblement entre elles, pour palier au problème des données manquantes on a opté à la méthode de régression linéaire en se basant sur le logiciel Xlstat.

**Tableau II.03 :** Coordonnées des stations pluviométriques

Nom de la St	Code de la St	X de la St (km)	Y de la St (km)	Z de la St (m)
SOUR EL GHOZLANE	150101	590.6	316.45	882
EL ESNAM SH	150204	620.4	335.5	435
MCHEDALLAH	150301	640.9	341.7	450
PORTES DE FER	150401	650.7	324.2	500
BOUIRA COLIGNY	150608	732	326.65	1010
TIXTER	150614	715	308.2	982
AIN ABESSA	150706	733.1	336.4	1100
BIR KASED ALI	150707	709.5	318.4	980
SIDI EMBAREK	150801	699.15	313.8	1011
TENIET ENASR	150807	671.2	327.45	1021
TIFRA	151007	678.75	375.75	450

Source : ANRH

Les conditions d'un comblement sont les suivantes :

- Stations peu distantes.
- Superficie de bassins comparables.
- Pluviométrie proche.
- Temps de réponse aux évènements pluvieux équivalent.
- La différence d'altitude entre les deux stations ne dépassant pas les 100 m.

En se basant sur l'hypothèse de remplacer les valeurs manquantes par des estimations présentant des qualités (vraisemblance) et des indices de confiance ( LABORDE, 2002)

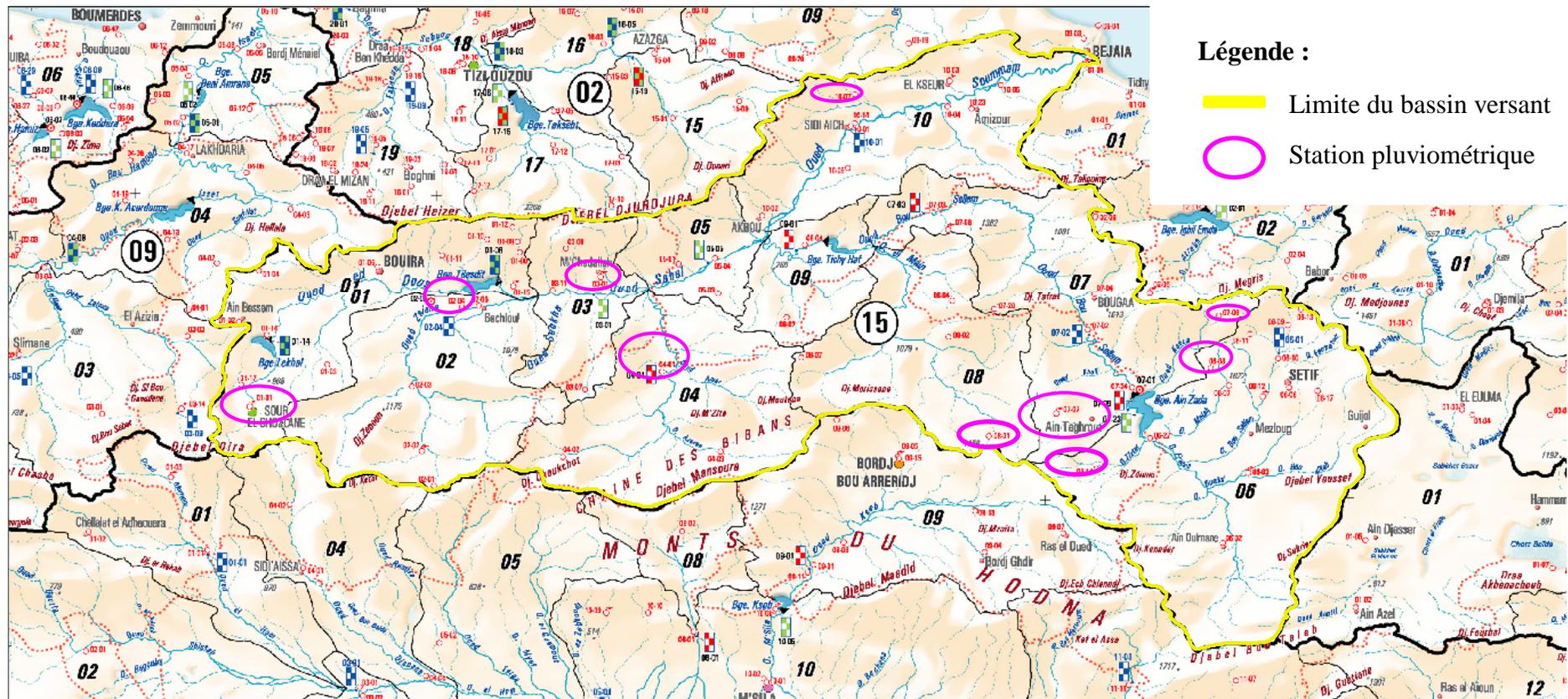
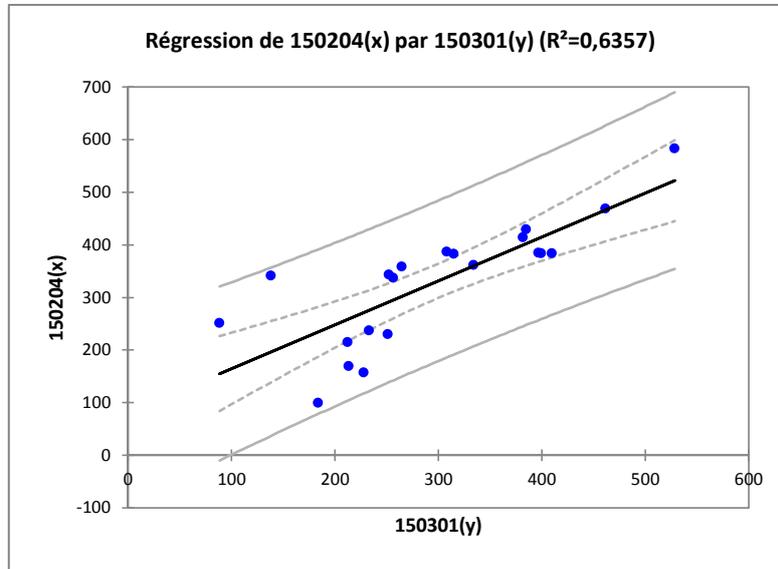


Figure II.03 : Répartition des stations pluviométriques sur un extrait de la carte du réseau hydrographique de l'ANRH Avec une échelle de 1/500 000

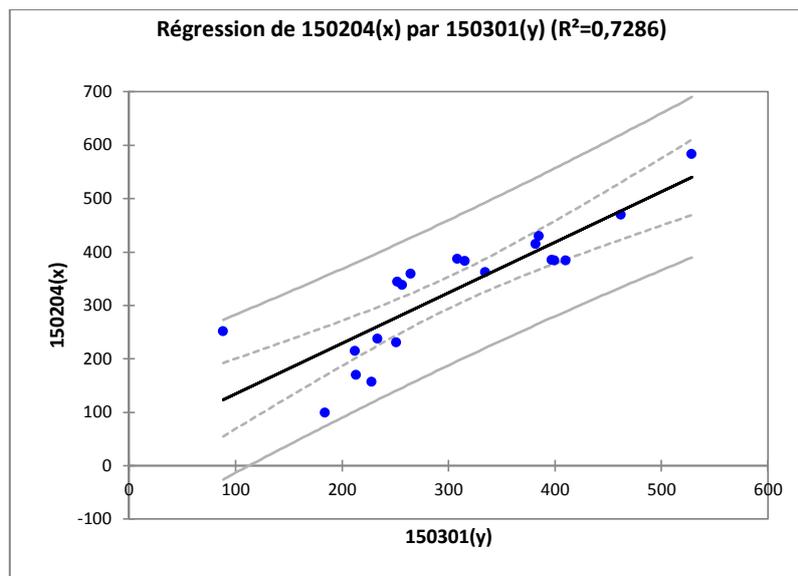
### Exemple de comblement de deux stations avec Xlstat (150301 et 150204)

La régression linéaire entre deux stations est acceptable si le coefficient de corrélation entre les deux stations appartient à l'intervalle  $0.5 < r < 1$  (Claude GRASLAND, 2000) on dit qu'on a une bonne corrélation si le coefficient est supérieur ou égal à 0.7 si le coefficient de corrélation trouvé est inférieur à 0.7, il faut supprimer les anomalies (valeurs à l'extérieur de l'intervalle de confiance), et refaire la régression linéaire jusqu'à atteindre la valeur souhaitée.



**Figure II.04 :** Graphe représentant la première régression linéaire

Coefficient de corrélation = 0,64



**Figure II.05 :** Graphe représentant la deuxième régression linéaire

Coefficient de corrélation = 0,73

Une fois le coefficient de corrélation atteint une valeur supérieur à 0,7, le comblement de lacunes est effectué à l'aide de l'équation de la droite théorique de la régression linéaire,  $Y = aX + b$  en remplaçant dans cette dernière les valeurs de X pour obtenir les valeurs manquantes dans la station Y.

➤ **Vérification de l'homogénéité des séries pluviométrique après le comblement de lacunes :**

Pour cela on utilise le test de MOOD qui consiste à vérifier les conditions suivantes :

$$\begin{cases} N_s > \frac{1}{2}(N + 1 - \mu_{1-\alpha/2} \sqrt{N + 1}) \\ T_s < 3.3(\log_{10}(N + 1)) \end{cases}$$

$N_s$  : Nombre total de série + et de -.

$T_s$  : Taille de la plus grande série.

On attribue le signe + aux valeurs supérieur à la médiane et le signe - aux valeurs inférieur à la médiane. (Touaïbia, 2004)

Puisque la taille de toutes les série est la même on conclue donc que les valeurs de  $\frac{1}{2}(N + 1 - \mu_{1-\alpha/2} \sqrt{N + 1})$  et  $3,3(\log_{10}(N + 1))$  sont égales pour toute les stations.

$$\frac{1}{2}(N + 1 - \mu_{1-\alpha/2} \sqrt{N + 1}) = 10.9$$

$$3,3(\log_{10}(N + 1)) = 5,0$$

Les résultats du test d'homogénéité sont présentés dans le tableau suivant.

**Tableau II.04 : Résultat du test d'homogénéité**

Nom de la St	Code de la St	$N_s$	Condition 1	$T_s$	Condition 2	Conclusion
SOUR EL GHOZLANE	150101	12	vérifiée	4	vérifiée	homogène
EL ESNAM SH	150204	15	vérifiée	4	Vérifiée	homogène
MCHEDALLAH	150301	16	vérifiée	4	vérifiée	homogène
PORTES DE FER	150401	18	vérifiée	3	vérifiée	homogène
BOUIRA COLIGNY	150608	12	vérifiée	4	vérifiée	homogène
TIXTER	150614	14	vérifiée	4	vérifiée	homogène
AIN ABESSA	150706	17	vérifiée	3	vérifiée	homogène
BIR KASED ALI	150707	16	vérifiée	3	vérifiée	homogène
SIDI EMBAREK	150801	16	vérifiée	3	vérifiée	homogène
TENIET ENASR	150807	13	vérifiée	4	vérifiée	homogène
TIFRA	151007	11	vérifiée	4	vérifiée	homogène

➤ **Test d'ajustement des séries pluviométriques (après le comblement) :**

Les séries pluviométriques ont été ajustées à la loi normale à l'aide du logiciel Hyfran, l'adéquation de la loi normale a été vérifiée par le biais du test de khi2.

Les résultats du test de khi2 sont résumés dans le tableau II.05.

Si khi2 calculé est inférieur à khi2 théorique donc l'adéquation de la loi est bonne (Touïbia, 2004).

La valeur de khi2 théorique pour un degré de liberté égale à 5 et une probabilité de 5% est extraite de la table de Pearson (annexe 02).

**Tableau II.05 :** Résultats du test d'adéquation de khi2

Code de la St	Khi2 calculé	Khi2 théorique	Degré de liberté	Nombre de classe
150101	2.00	11,07	5	8
150204	8.00	11,07	5	8
150301	4.50	11,07	5	8
150401	7.00	11,07	5	8
150608	11.00	11,07	5	8
150614	7.00	11,07	5	8
150706	5.00	11,07	5	8
150707	5.00	11,07	5	8
150801	2.00	11,07	5	8
150807	3.00	11,07	5	8
151007	2.50	11,07	5	8

Les résultats du tableau II.05 amènent à dire que l'adéquation de la loi normale est bonne puisque pour toutes les stations pluviométriques le khi2 calculé est inférieur au khi2 théorique.

En analysant les graphes d'ajustement (annexe 01) de toutes les stations pluviométriques, il a été constaté que tous les points passent par la droite théorique pour chaque station ce qui confirme le résultat obtenu par le test de khi2.

**Partie II : Méthodes utilisées****1) Indice standardisé de précipitations SPI :**

- **Définition :**

L'indice SPI (McKee et al. 1993, 1995) est un indice à la fois puissant, souple d'utilisation et simple à calculer. Les données sur les précipitations constituent en fait le seul paramètre requis. En outre, l'indice SPI se révèle tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs. (OMM, 2012).

- **Formule de l'indice SPI :**

L'expression est donnée par la formule suivante :

$$SPI_{12} = \frac{P_i - P_m}{\delta}$$

$P_i$  : Pluie de l'année  $i$ .

$P_m$  : Pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée.

$\delta$  : Ecart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée.

- **Classification des valeurs SPI :** (McKee et al. 1993)

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 II.06 :** Classification des sécheresses selon les valeurs de SPI

Valeur SPI	Séquence de sécheresse
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

- **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).

## 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.

**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 seront présentés dans le prochain chapitre.

# **Chapitre III**

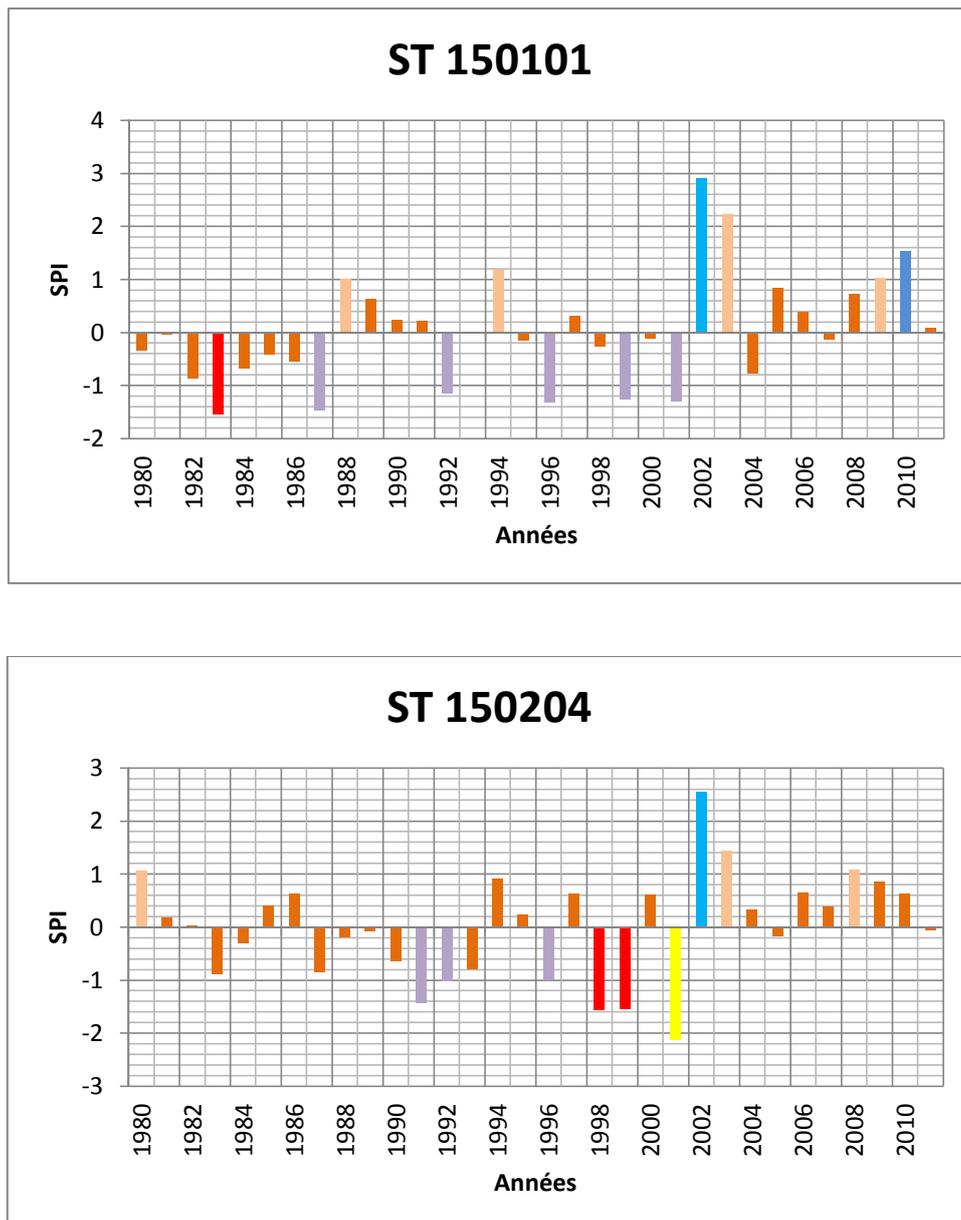
## **Résultats et discussion**

**Introduction :**

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

**1) Indice standardisé de précipitation SPI :**

Après avoir calculé les SPI (annexe 03) pour toutes les stations pluviométriques, la classification des valeurs de SPI est illustrée dans la figure III.01.



**Figure III.01 :** Classification des valeurs des SPI

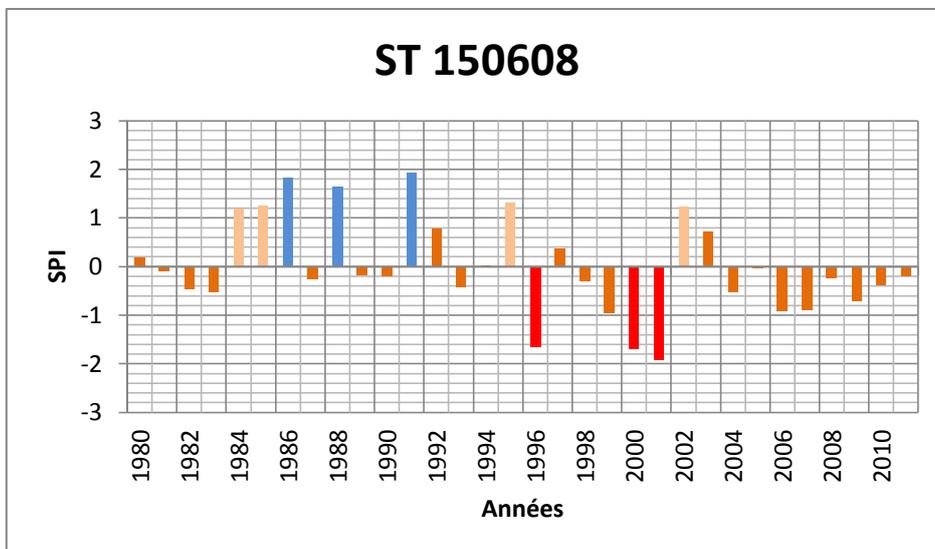
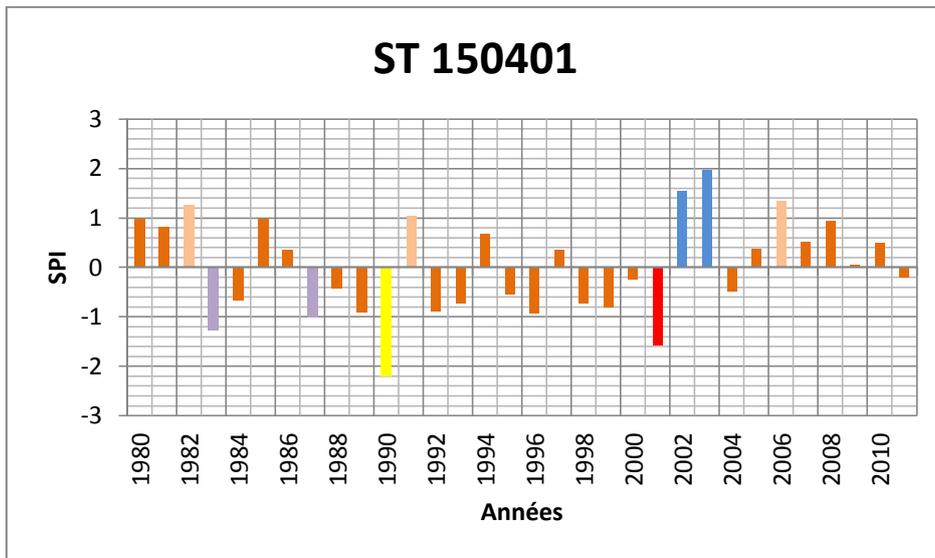
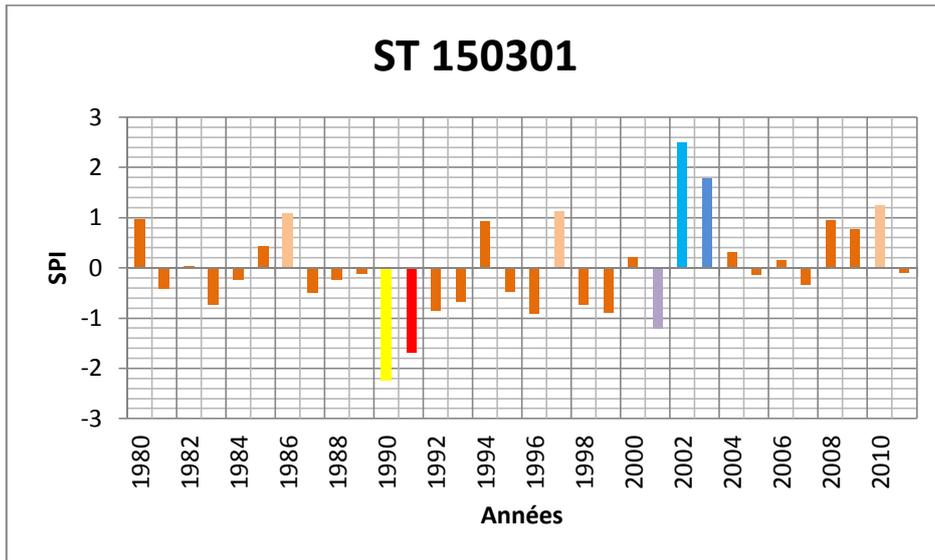


Figure III.01 (suite) : Classification des valeurs des SPI

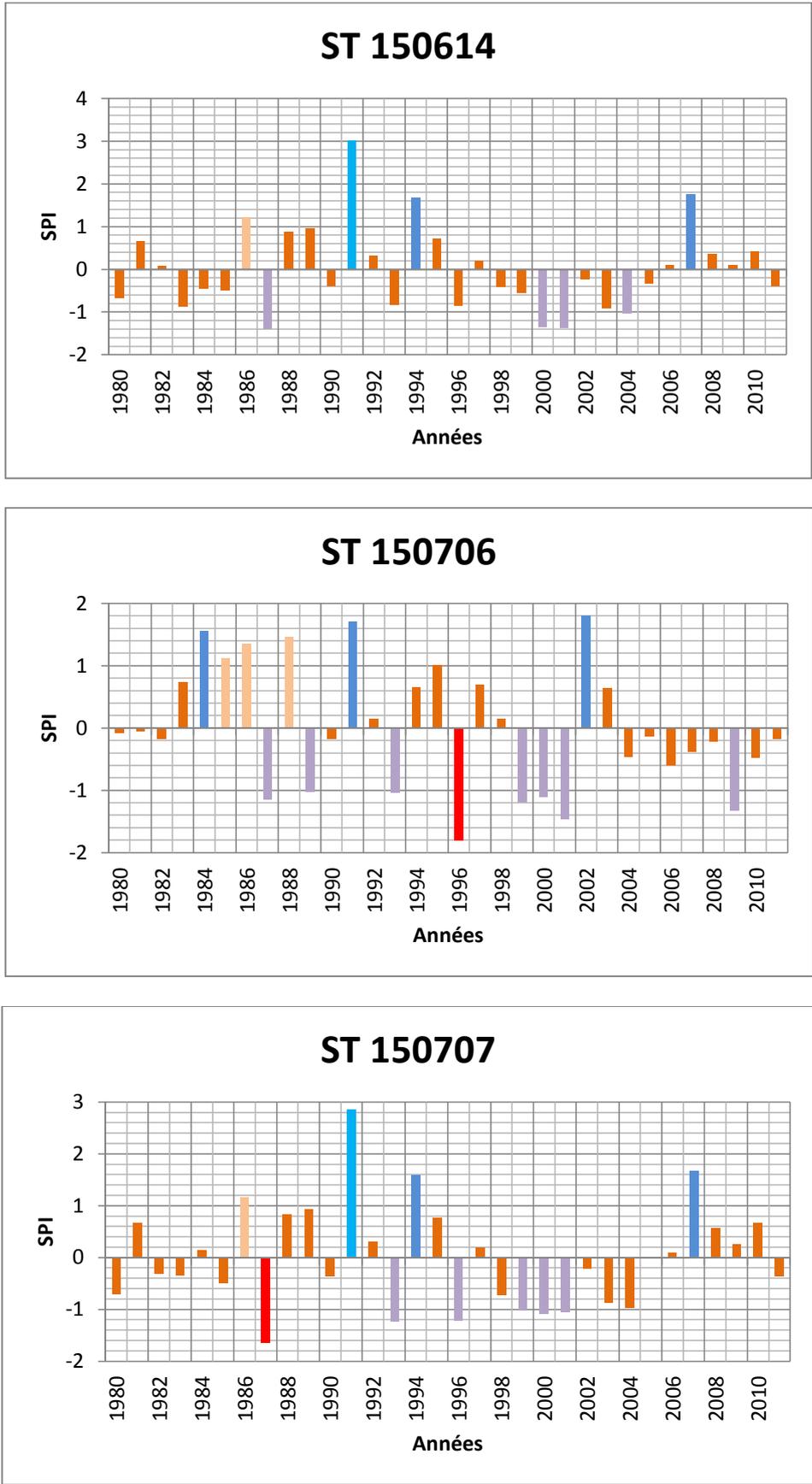


Figure III.01 (suite) : Classification des valeurs des SPI

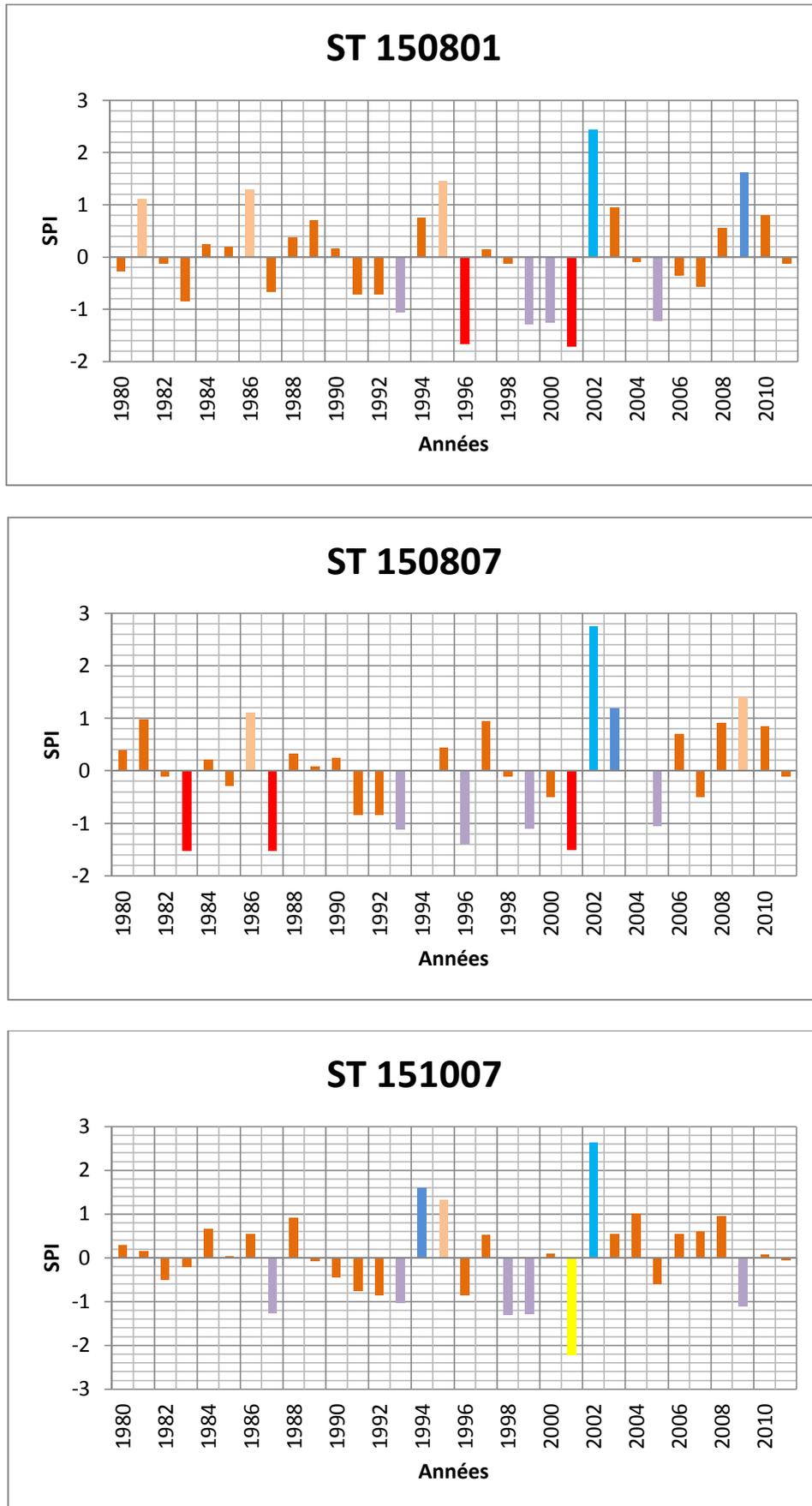


Figure III.01 (suite) : Classification des valeurs des SPI

- **Interprétation:**

En analysant les résultats de la figure III.01 et en se basant sur les indications du tableau II.04 (chapitre précédent), la classification des indices SPI est présentée dans le tableau III.01.

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 III.01.

**Tableau III.01 : 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 III.02 : Taux d'années sèches et d'années humides pour chaque station sur une période de 32 ans**

	150101	150204	150301	150401	150608	150614	150706	150707	150801	150807	151007
Extrêmement humide	3,1	3,1	3,1	0	0	3,1	0	3,1	3,1	3,1	3,1
Très humide	3,1	0	3,1	6,3	9,4	6,3	9,4	6,3	3,1	3,1	3,1
Modérément humide	12,5	9,4	9,4	9,4	12,5	3,1	12,5	3,1	9,4	6,3	3,1
Proche de la normale	62,5	68,8	75	71,9	68,8	75	56,3	68,8	65,6	65,6	71,9
Modérément sec	15,6	9,4	3,1	6,3	0	12,5	18,8	15,6	15,6	12,5	15,6
Très sec	3,1	6,3	3,1	3,1	9,4	0,0	3,1	3,1	3,1	9,4	0
Extrêmement sec	00,0	3,1	3,1	3,1	0,0	0,0	0,0	0	0	0	3,1

Il ressort des résultats du tableau III.01 et des graphes de la figure III.01 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 3.1% dans la majorité des postes pluviométriques sauf pour les postes (150401), (150608) et (150706) elle prend la valeur de 0%.

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

La fréquence d'apparition maximale est de 9.4% et la fréquence minimale est de 0.0%.

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

La fréquence d'apparition maximale est égale à 12.5% elle est enregistrée aux postes pluviométriques (150101), (150608) et (150706). La fréquence minimale est égale 3.1%, elle est enregistrée dans aux postes (150614), (150707) et (151007).

**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  $56.3 < F < 75$ .

- **Classes sèche :**

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

La fréquence d'apparition maximale est égale à 18.8 %, elle est observée au poste pluviométrique (150706) et la fréquence minimale est de 0.0 % elle est observée au poste pluviométrique (150608).

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

La majorité des postes pluviométriques prennent la valeur de 3.1%, la valeur maximale est de 9.4% est enregistrée au poste (150608) et la valeur minimale est égale à 0.0% elle est enregistrée aux postes (150614) et (151007).

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

La fréquence maximale d'apparition est égale à 3.1 % elle est enregistré aux postes (150204), (150301), (150401) et (151007). Pour le reste des postes pluviométriques la fréquence est nulle.

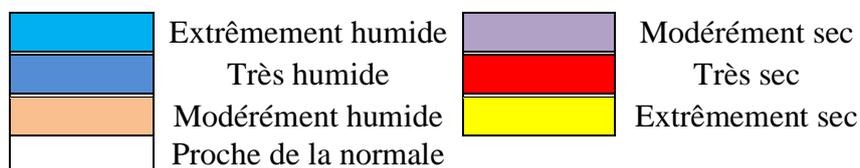
- **Détermination des années sèches et des années humides :**

Pour déterminer et différencier les années sèches des années humides on trace le tableau III.03 qui représente la répartition des SPI annuels.

**Tableau III.03 : Répartition annuelle des SPI**

	150101	150204	150301	150401	150608	150614	150706	150707	150801	150807	151007
1980		Modérément humide									
1981									Modérément humide		
1982				Modérément humide							
1983	Très sec			Modérément sec						Très sec	
1984					Modérément humide		Très humide				
1985					Modérément humide		Modérément humide				
1986			Modérément humide		Très humide	Modérément humide	Modérément humide	Modérément humide	Modérément humide	Modérément humide	
1987	Modérément sec			Modérément sec		Modérément sec	Modérément sec	Très sec		Très sec	Modérément sec
1988	Modérément humide				Très humide		Modérément humide				
1989							Modérément sec				
1990			Extrêmement sec	Extrêmement sec							
1991		Modérément sec	Très sec	Modérément humide	Très humide	Extrêmement humide	Très humide	Extrêmement humide			
1992	Modérément sec	Modérément sec									
1993							Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec
1994	Modérément humide					Très humide		Très humide			Très humide
1995					Modérément humide				Modérément humide		Modérément humide
1996	Modérément sec	Modérément sec			Très sec		Très sec	Modérément sec	Très sec	Modérément sec	
1997			Modérément humide								
1998		Très sec									Modérément sec
1999	Modérément sec	Très sec					Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec
2000					Très sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	
2001	Modérément sec	Extrêmement sec	Modérément sec	Très sec	Très sec	Modérément sec	Modérément sec	Modérément sec	Très sec	Très sec	Extrêmement sec
2002	Extrêmement humide	Extrêmement humide	Extrêmement humide	Très humide	Modérément humide		Très humide		Extrêmement humide	Extrêmement humide	Extrêmement humide
2003	Modérément humide	Modérément humide	Très humide	Très humide						Très humide	
2004						Modérément sec					
2005									Modérément sec	Modérément sec	
2006				Modérément humide							
2007						Très humide		Très humide			
2008		Modérément humide									
2009	Modérément humide						Modérément sec		Très humide	Modérément humide	Modérément sec
2010	Très humide		Modérément humide								
2011											

**Légende :**



En analysant le tableau III.03 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 III.04 résume les résultats de toute la période d'étude.

En analysant les résultats du tableau III.04 on constate que la zone d'étude est caractérisée par plus d'années normales que sèches et humide.

**Tableau III.04** : Années normales, humides et sèches pour chaque station

Années	Nbr de stations normales	Nbr de stations humides	Nbr de stations sèches
1980	10	1	0
1981	10	1	0
1982	10	1	0
1983	8	0	3
1984	9	2	0
1985	9	2	0
1986	4	7	0
1987	4	0	7
1988	8	3	0
1989	10	0	1
1990	9	0	2
1991	4	5	2
1992	9	0	2
1993	6	0	5
1994	7	4	0
1995	8	3	0
1996	4	0	7
1997	10	1	0
1998	9	2	0
1999	4	0	7
2000	6	0	5
2001	0	0	11
2002	2	9	0
2003	6	5	0
2004	10	0	1
2005	9	0	2
2006	10	1	0
2007	9	2	0
2008	10	1	0
2009	6	3	2
2010	9	2	0
2011	11	0	0

**Les années normales :**

L'année 2011 est une année normale avec 11 stations normales.

Les années 1980, 1981, 1982, 1989, 1997, 2004, 2008 sont normales avec 10 stations normales.

Les années 1984, 1985, 1990, 1992, 1998, 2005, 2007, 2010 sont normales avec 9 stations normales.

Les années 1983, 1988, 1995, 2005, 2007, 2010 sont normales avec 8 stations normales.

L'année 1994 est normale avec une station normale.

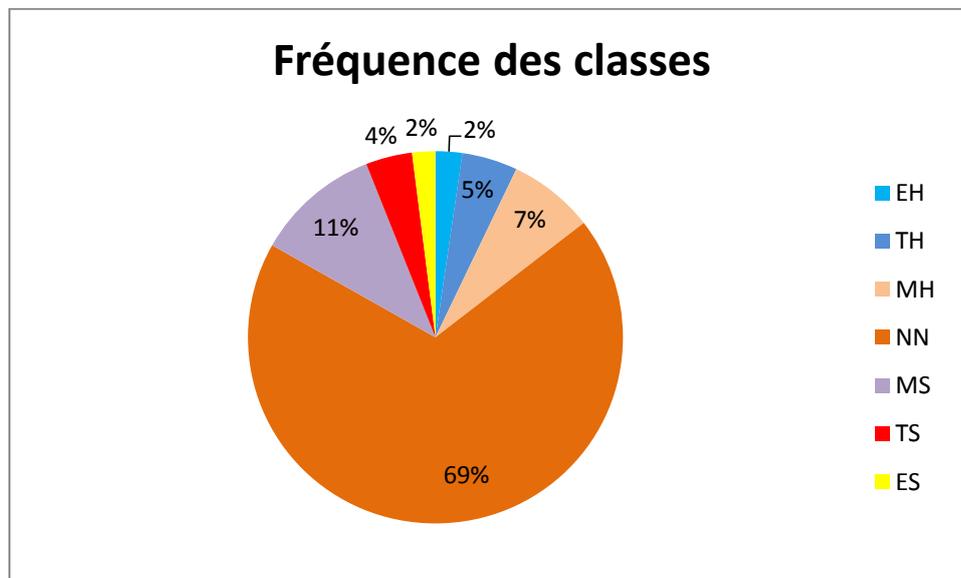
**Les années humides :**

On enregistre uniquement deux années humides 1986 avec 7 stations humides et 2002 avec 9 stations humides.

**Les années sèches :**

On enregistre l'année 2001 avec 11 stations sèches, les années 1987,1996, 1999 avec 7 stations sèches.

La figure III.03 permet de conclure que la zone d'étude est une zone non touchée par la sécheresse on remarque que la classe prédominante est la classe normale avec un pourcentage de 69% du total des enregistrements suivi par la classe sèche avec un pourcentage de 17% du total des enregistrements puis par la classe humide avec 14% du total des enregistrements.



**Figure III.03 :** Fréquence des classes pour tous les enregistrements

**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 (1980-2011) pour les 11 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 III.05 et la figure III.04 représente le pourcentage de variance obtenue pour chaque composante.

**Tableau III.05** : Pourcentage de la variance de l'A.C.P

	Variance %	Variance cumulée %
Composante 01	54,29	54,29
Composante 02	20,15	74,44
Composante 03	8,97	83,41
Composante 04	6,02	89,43
Composante 05	4,05	93,49
Composante 06	2,96	96,45
Composante 07	1,47	97,92
Composante 08	0,92	98,84
Composante 09	0,59	99,42
Composante 10	0,44	99,86
Composante 11	0,14	100,00

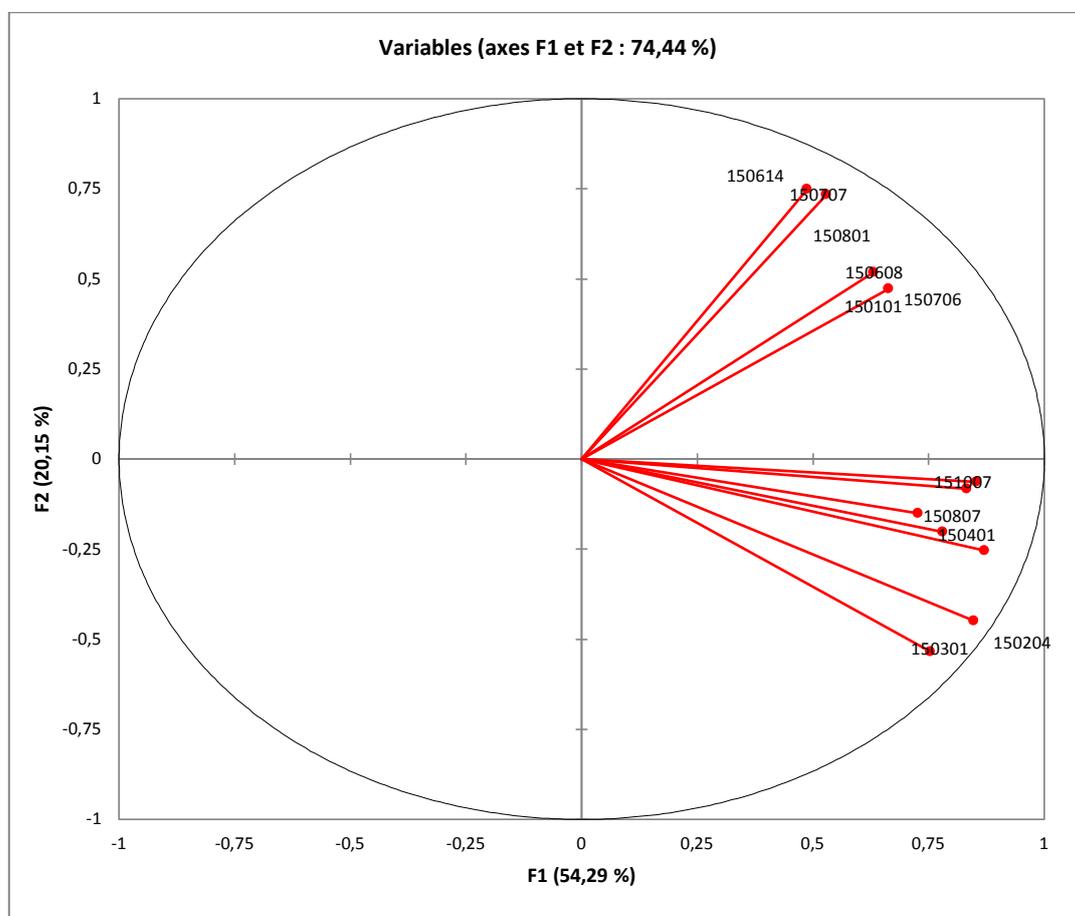
D'après les résultats obtenus du tableau III.05, il est à constater que les deux (02) premières composantes expliquent le maximum d'informations (74.44% de la variance totale), avec 54.29% pour la première composante, 20.15% pour la seconde mais à partir de la troisième composante, l'information expliquée devient faible. Donc, les deux premières composantes seront retenues.

- Corrélation entre les variables et les axes principaux C1 et C2.

Le tableau III.06 résume les différents coefficients de corrélations pour les deux composantes principales C1 et C2. Et la figure III.04 représente la représentation de ces variables sur un plan C1\*C2.

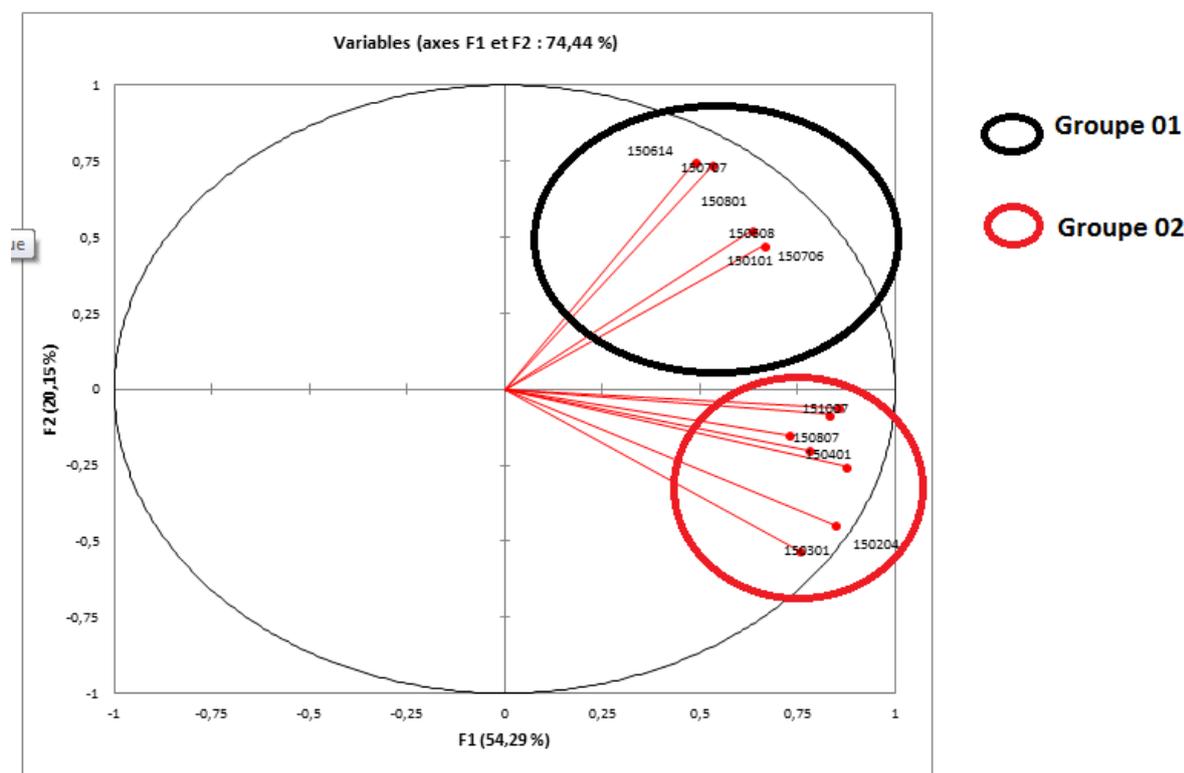
**Tableau III.06 :** Projection des variables sur les axes principaux

Stations	1ere A.C.P	
	Axe C1	Axe C2
150101	0,78	-0,20
150204	0,85	-0,45
150301	0,75	-0,53
150401	0,73	-0,15
150608	0,63	0,52
150614	0,49	0,75
150706	0,66	0,47
150707	0,53	0,73
150801	0,85	-0,06
150807	0,87	-0,25
151007	0,83	-0,08



**Figure III.04 :** Projection des variables sur un plan C1\*C2

L'observation de la figure III.04 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 III.05).



**Figure III.05 :** Représentations des deux groupes de stations

Toutes les stations du premier groupe (150614, 150806, 150801, 150101, 150707, 150706) sont situées au sud du bassin versant, les stations du second groupe (150204, 150301, 150401, 150807, 151007) sont situées au nord du bassin versant

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

Il est clair que la sécheresse s'intensifie allant du nord vers le sud comme il est indiqué sur la figure III.6. Ces résultats concordent avec les résultats de Topcu et al. (2010) pour la Turquie et les résultats de Loukas et Vasiliades (2004) pour la Grèce.

La représentation graphique du cercle de corrélation est illustrée sur la figure III.06

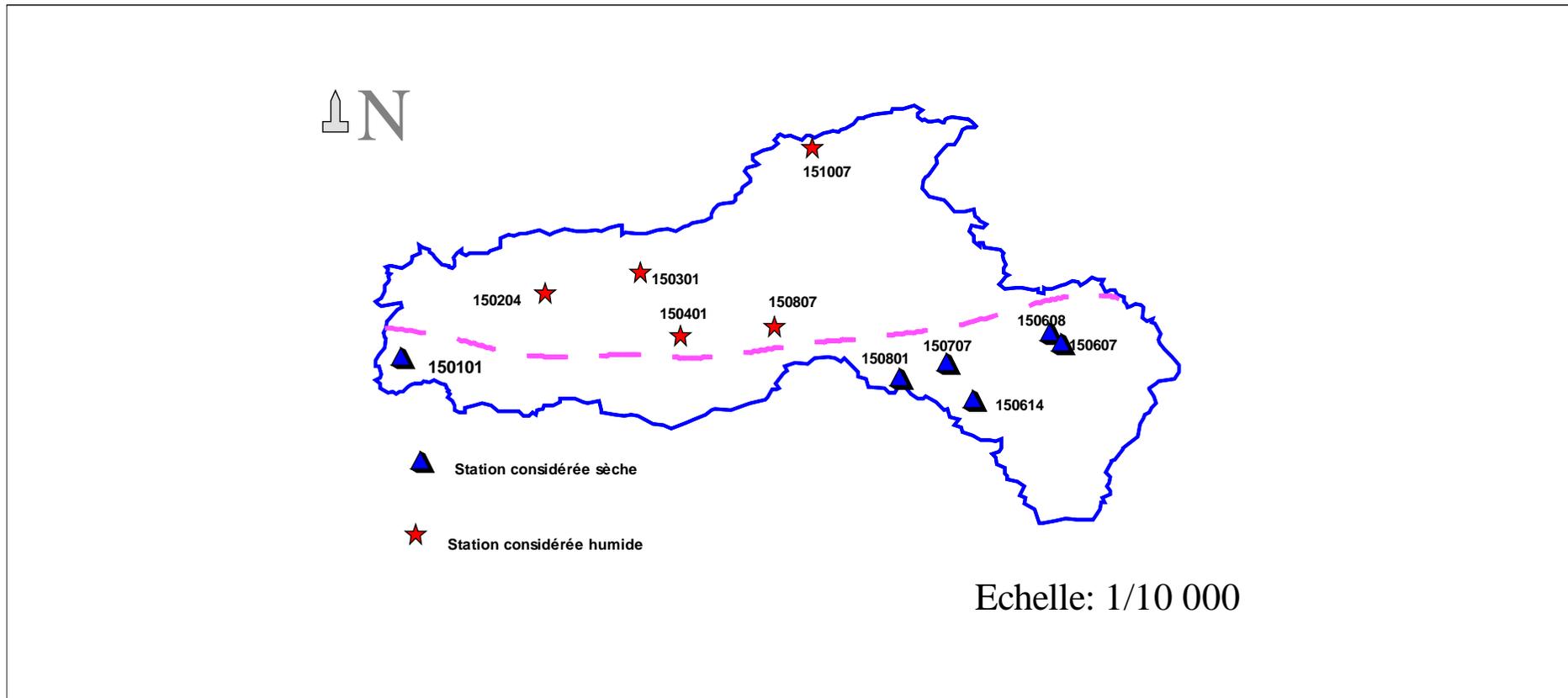
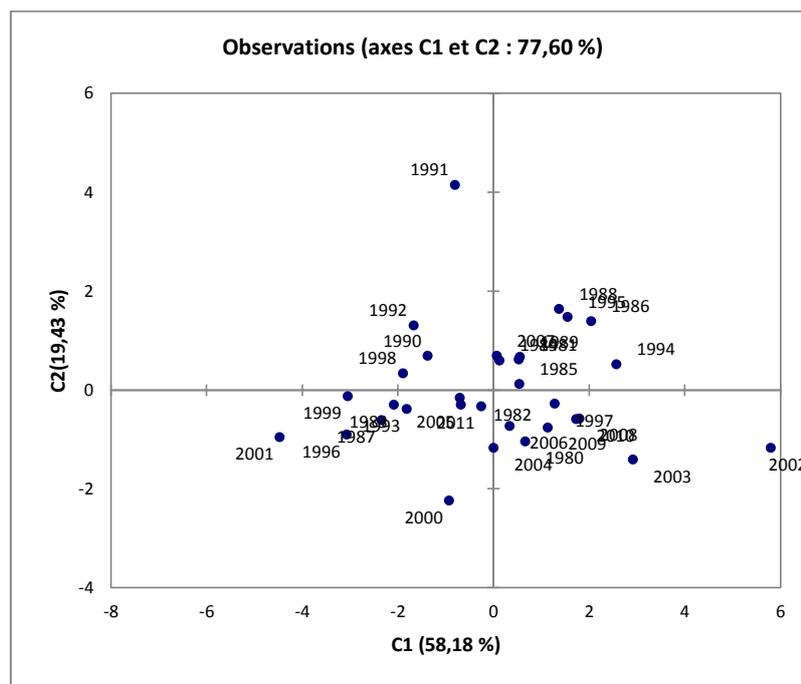


Figure III.06 : Présentation physique du cercle de corrélation

➤ **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 III.08 il existe deux parties ces deux parties sont partagées par l'axe C2, il est a constater que les deux années 2001 et 2002 sont opposées par rapport à l'axe C2, ces deux années sont également opposées en caractéristiques, l'année 2001 est l'année totalement sèche avec 11 stations sèches et l'année 2002 est l'année humide avec 9 stations. Plus on s'approche de l'axe C2 les années deviennent normale, les détails sont illustrés dans la figure III.07.



**Figure III.07 :** Distribution des années sur les deux axes C1 et C2

**Conclusion :**

L'indice standardisé de précipitation indique que l'année 2001 est l'année la plus touché par la sécheresse et l'année 2002 et celle la moins touchée par la sécheresse.

L'analyse en composantes principales a départagé la zone d'étude en deux régions principales, le nord du bassin versant caractérisé par une sécheresse moins dense par rapport à celle de la 2eme région située au sud.

## Conclusion générale

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 69% du total d'enregistrements sont normaux, 17% sont secs et 14% sont humides.

L'année 2001 est l'année la plus touchée par la sécheresse avec une fraction de stations sèches de 11/11.

L'année 2002 est l'année la moins touchée par la sécheresse avec une fraction de stations humides de 9/11.

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 de la région d'étude tandis que les stations de la deuxième région sont situées dans sa partie sud.

La sécheresse s'accroît dans le bassin versant allant du nord vers le sud.

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 approfondi dans un futur travail de thèse de doctorat en se basant sur ces résultats et en utilisant d'autres méthodes plus approfondies.

# Références bibliographiques

**ACHITE M. et TOUAIBIA B, 2007.** Sécheresse et gestion des ressources en eau dans le bassin versant de la mina.

**ADEM, 2015.** Agence De l'Environnement du Ministère De L'Energie, le changement climatique paris.

**ANTIPOLIS, 2008.** Changement climatique et énergie en méditerranée.(PDF)

**CIHEAM, juin2004.** Impact du changement climatique sur l'agriculture.

**DECHEMI N. BERMAD A. HAMRICHE A. 1994.** Simulation des débits moyens mensuels en zone semi-aride par l'analyse en composantes principales.

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

**G.PHELLIPAU, 1996.** Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale ?

**GIEC et OMM, 2007.** Bilan 2007 des changements climatiques.

**GRASLAND.C, 2000.** Initiation aux méthodes statistiques en sciences sociales

**LOUKAS A, VAILIADES L, 2004.** Probabilistic analysis of drought spatio-temporal characteristics in Thessaly region.

**MCKKE, 1995.** Drought monitoring with multiple.

**MEDDI.H MEDDI.M, 2007.** Variabilité spatiale et temporelle des précipitations du nord-ouest de l'Algérie

**OBLED, 1997.** Contribution à l'analyse des données en hydrométéorologie.

**OMM, 2006.** Suivi de la sécheresse, progrès et enjeu futur.

**OMM, 2012.** Guide d'utilisation de l'indice normalisé de précipitations.

**Pruneau et al, 2004.** Guide pédagogique d'éducation au changement climatique. Université de Moncton, groupe de recherche littoral et vie.

**TOPCU S, 2010.** Observed and projected changes in drought conditions of turkey.

**TOUÏBIA.B, 2004.** MANUEL PRATIQUE D'HYDROLOGIE.(Mars2004).Edition MADANI FRERES.

# Annexes

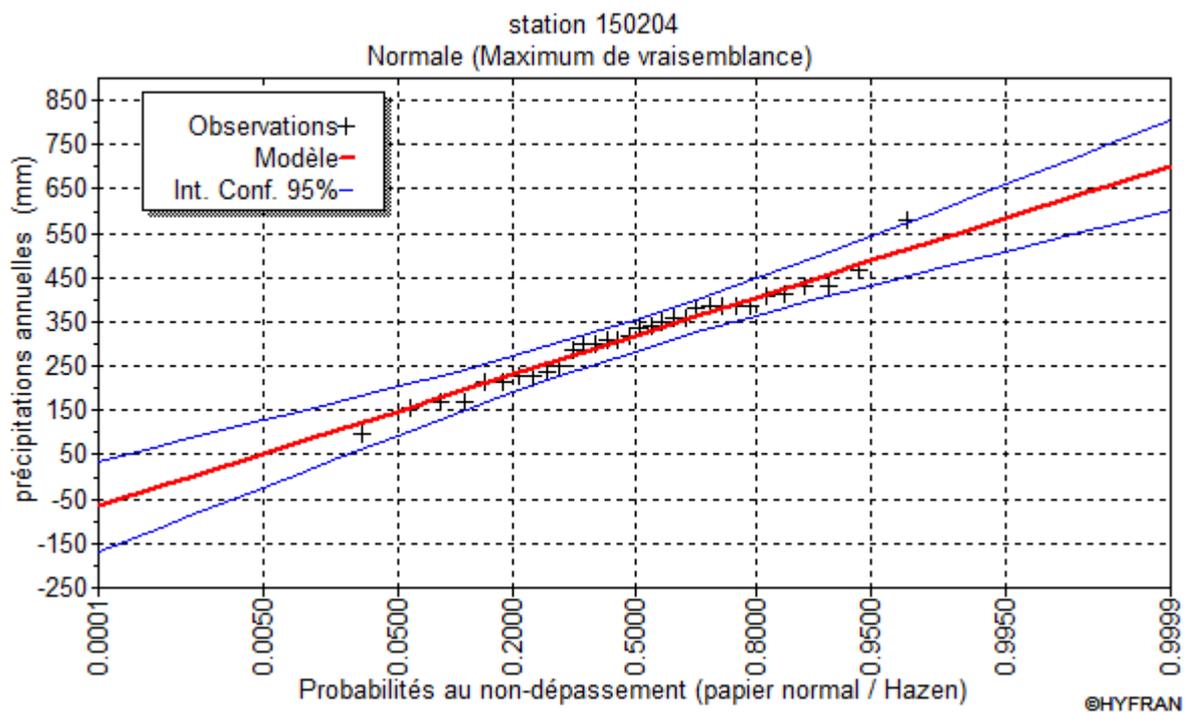
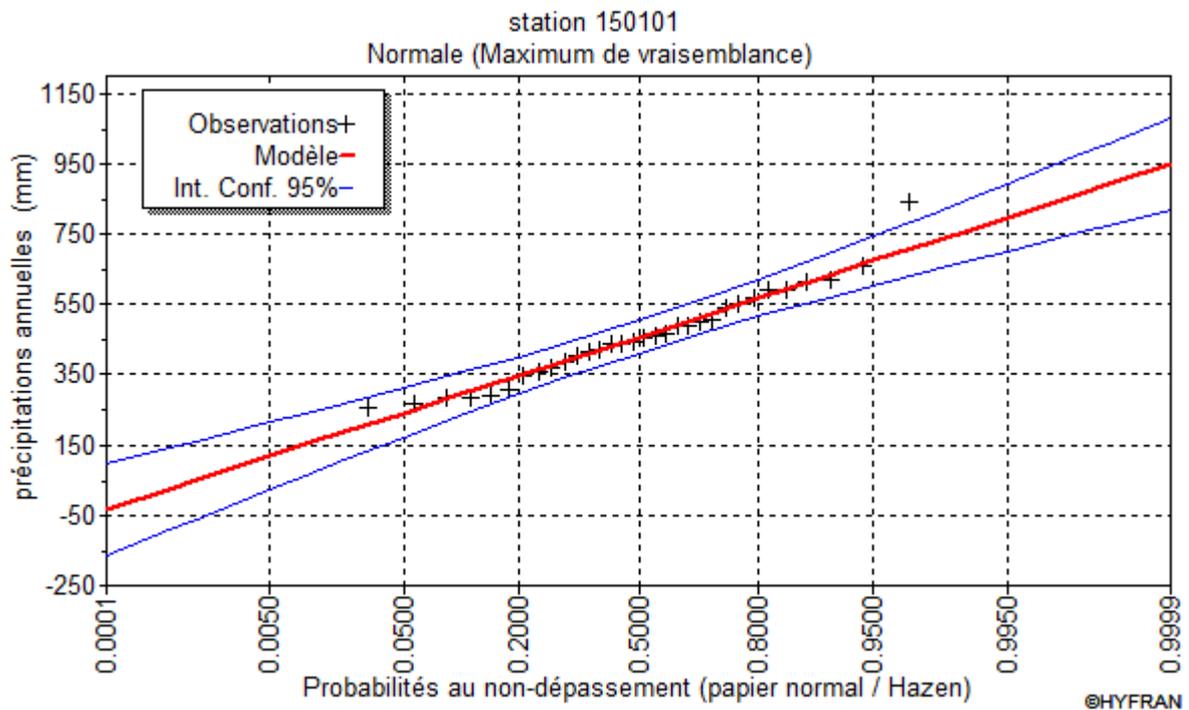
## Annexe n°1 : Table du PEARSON

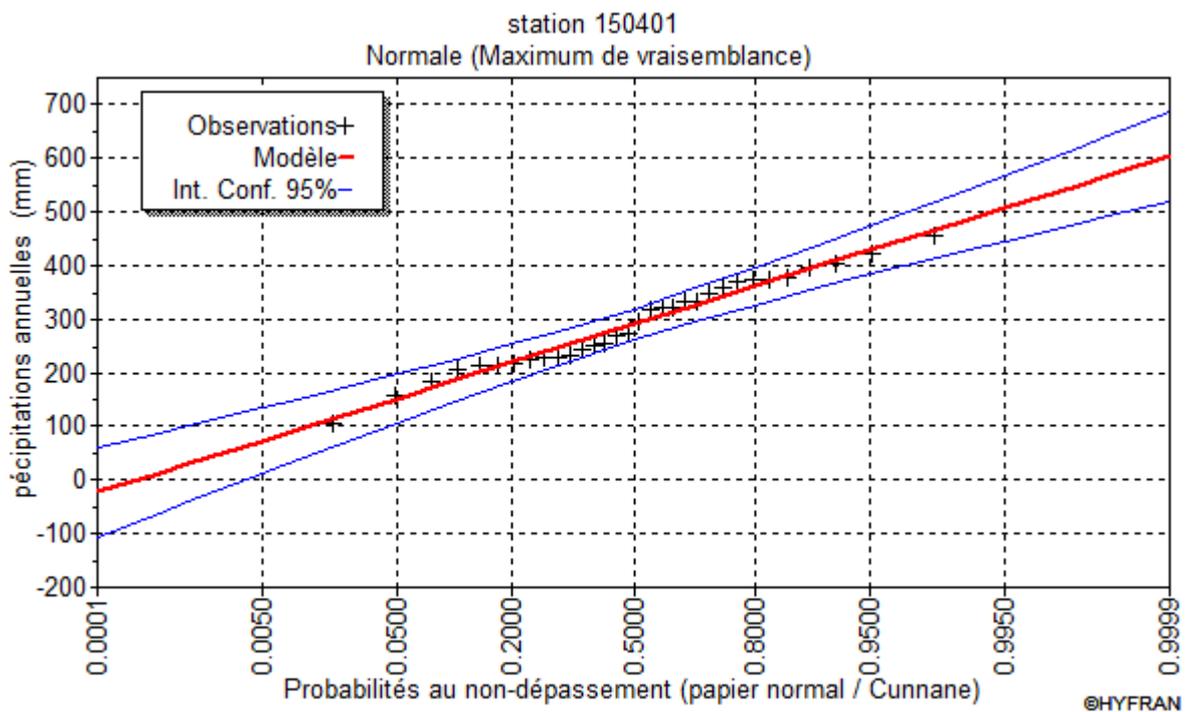
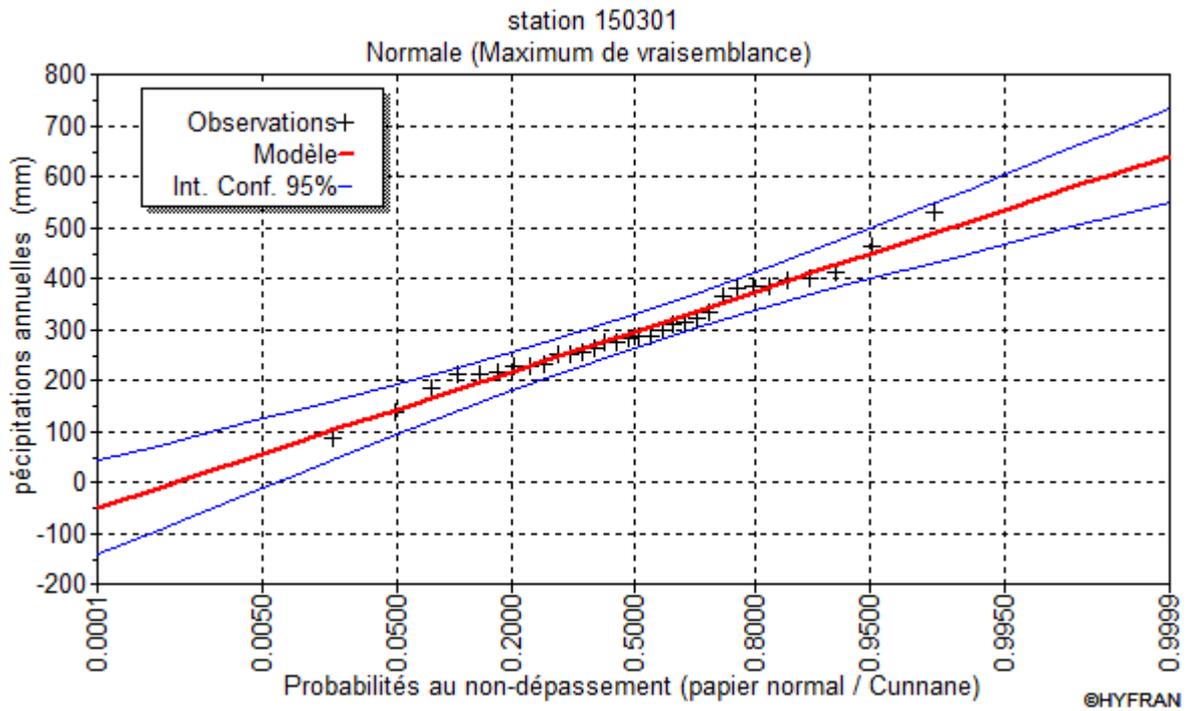
Annexe 2. Table du  $\chi^2$

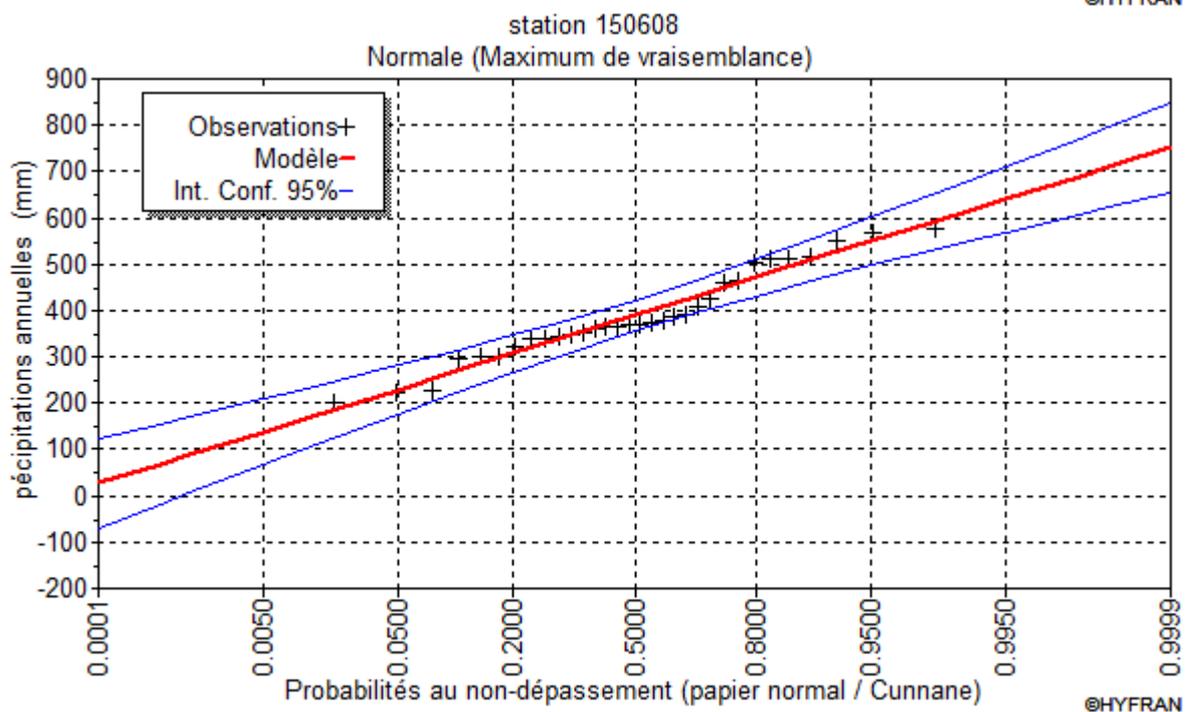
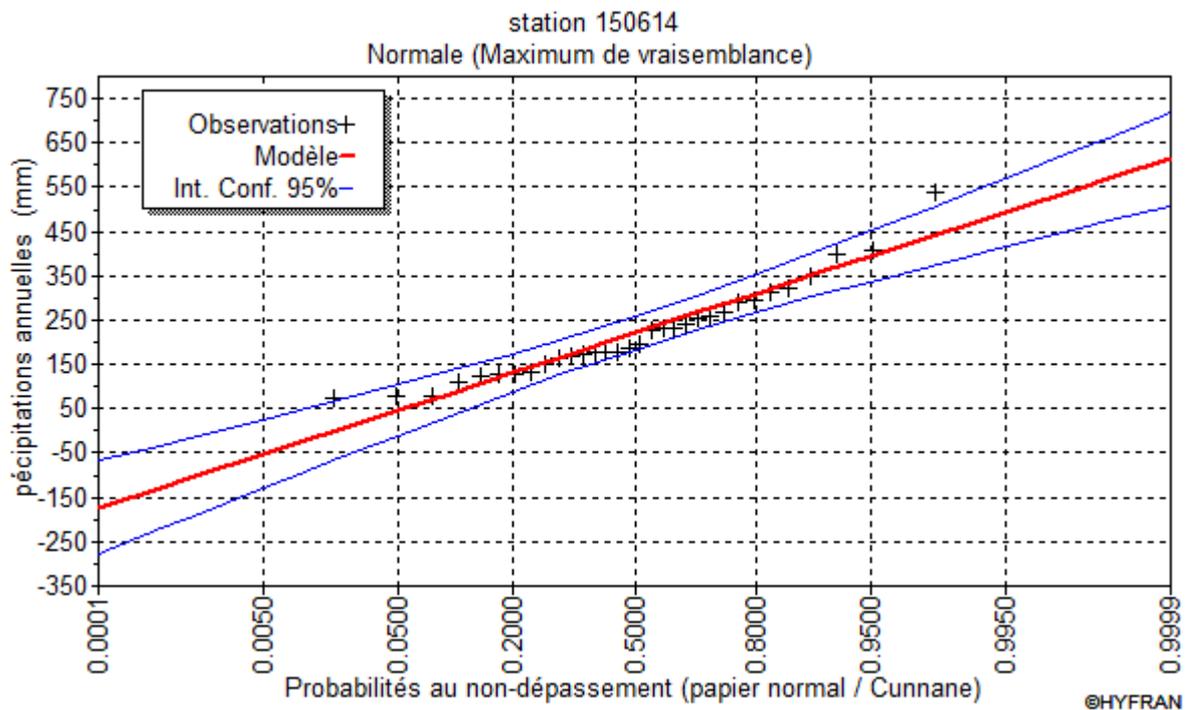
P γ	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0.016	0.455	1.074	1.642	2.705	3.841	5.412	6.635	10.827
2	0.211	1.386	2.408	3.219	4.605	5.991	7.824	9.210	13.815
3	0.584	2.366	3.665	4.642	6.251	7.815	9.837	11.345	16.266
4	1.064	3.357	4.878	5.989	7.779	9.488	11.668	13.277	18.467
5	1.610	4.351	6.064	7.289	9.236	11.070	13.388	15.086	20.515
6	2.204	5.348	7.231	8.558	10.645	12.592	15.033	16.812	22.457
7	2.833	6.346	8.383	9.803	12.017	14.067	16.622	18.475	24.322
8	3.490	7.344	9.524	11.030	13.362	15.507	18.168	20.090	26.125
9	4.168	8.343	10.656	12.242	14.684	16.919	19.679	21.666	27.877
10	4.865	9.342	11.781	13.442	15.987	18.307	21.161	23.209	29.588
11	5.578	10.341	12.899	14.631	17.275	19.675	22.618	24.725	31.264
12	6.304	11.340	14.011	15.812	18.549	21.026	24.054	26.217	32.909
13	7.042	12.340	15.119	16.985	19.812	22.362	25.472	27.688	34.528
14	7.790	13.339	16.222	18.151	21.064	23.685	26.873	29.141	36.123
15	8.547	14.339	17.322	19.311	22.307	24.996	28.259	30.578	37.697
16	9.312	15.338	18.418	20.465	23.542	26.296	29.633	32.000	39.252
17	10.085	16.338	19.511	21.615	24.769	27.587	30.995	33.409	40.790
18	10.865	17.338	20.601	22.760	25.989	28.869	32.346	34.805	42.312
19	11.651	18.338	21.689	23.900	27.204	30.144	33.687	36.191	43.820
20	12.443	19.337	22.775	25.038	28.412	31.410	35.020	37.566	45.315
21	13.240	20.337	23.858	26.171	29.615	32.671	36.343	38.932	46.797
22	14.041	21.337	24.939	27.301	30.813	33.924	37.659	40.289	48.268
23	14.848	22.337	26.018	28.429	32.007	35.172	38.968	41.638	49.728
24	15.659	23.337	27.096	29.553	33.196	36.415	40.270	42.980	51.179
25	16.473	24.337	28.172	30.675	34.382	37.652	41.566	44.314	52.620
26	17.292	25.336	29.246	31.795	35.563	38.885	42.856	45.642	54.052
27	18.114	26.336	30.319	32.912	36.741	40.113	44.140	46.963	55.476
28	18.939	27.336	31.391	34.027	37.916	41.337	45.419	48.278	56.893
29	19.768	28.336	32.461	35.139	39.087	42.557	46.693	49.588	58.302
30	20.599	29.336	33.530	36.250	40.256	43.773	47.962	50.892	59.703

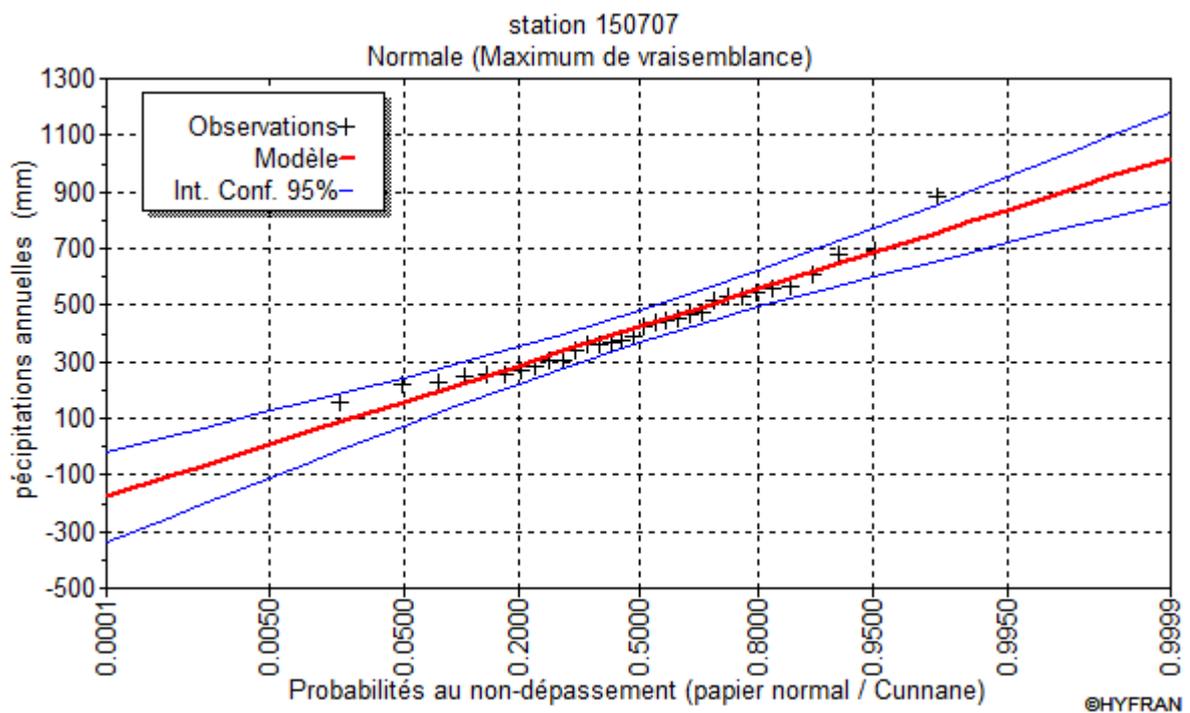
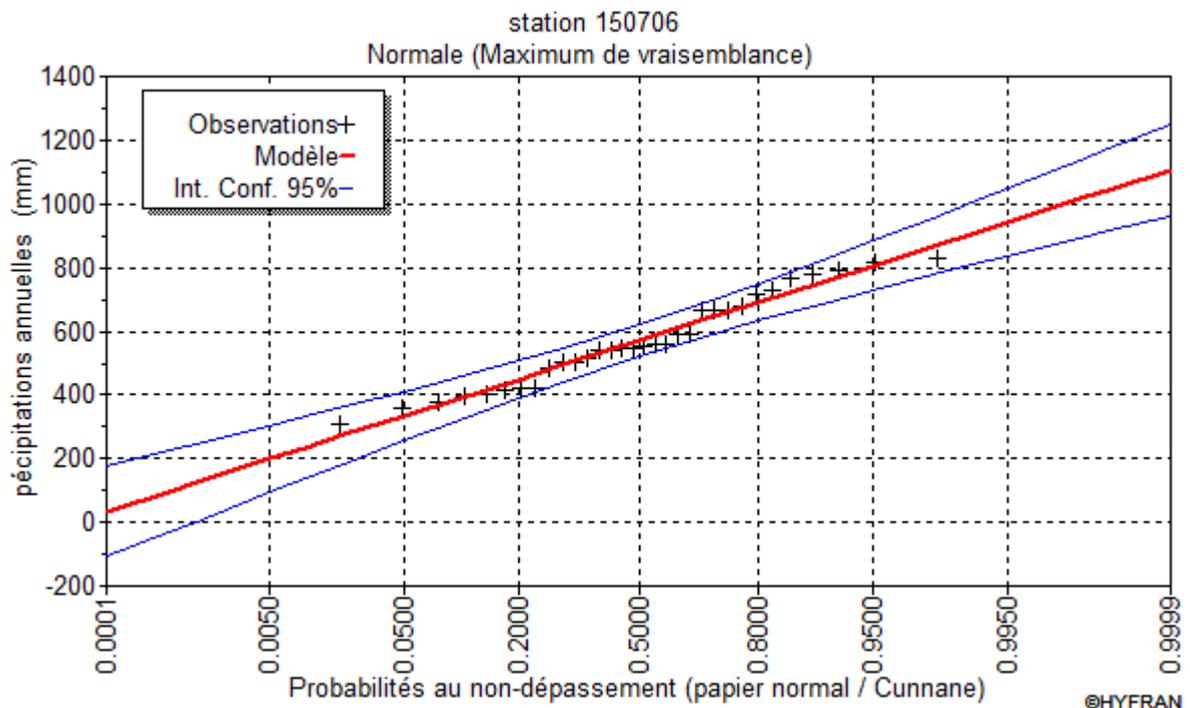
La table donne la probabilité  $\alpha$  pour que  $\chi^2$  égale ou dépasse une valeur donnée en fonction du nombre de degré de liberté  $\gamma$

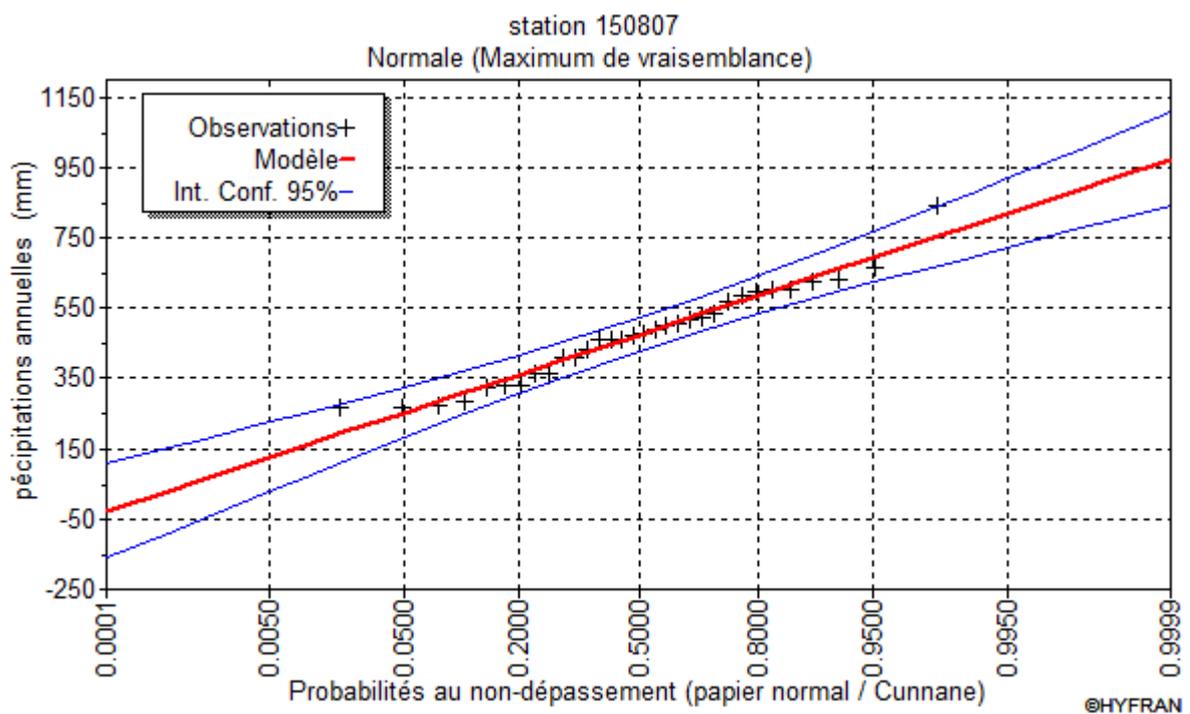
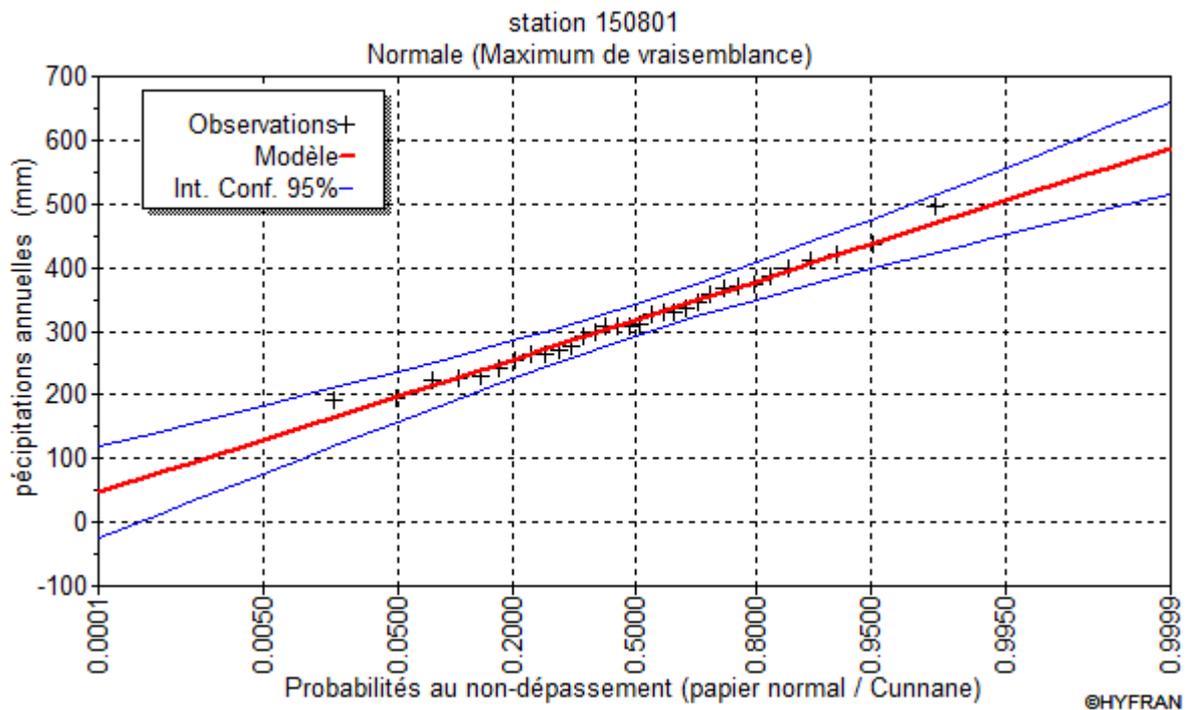
## Annexe n°2 : Graphes d'ajustement à la loi normale avec le logiciel Hyfran pour les différentes stations

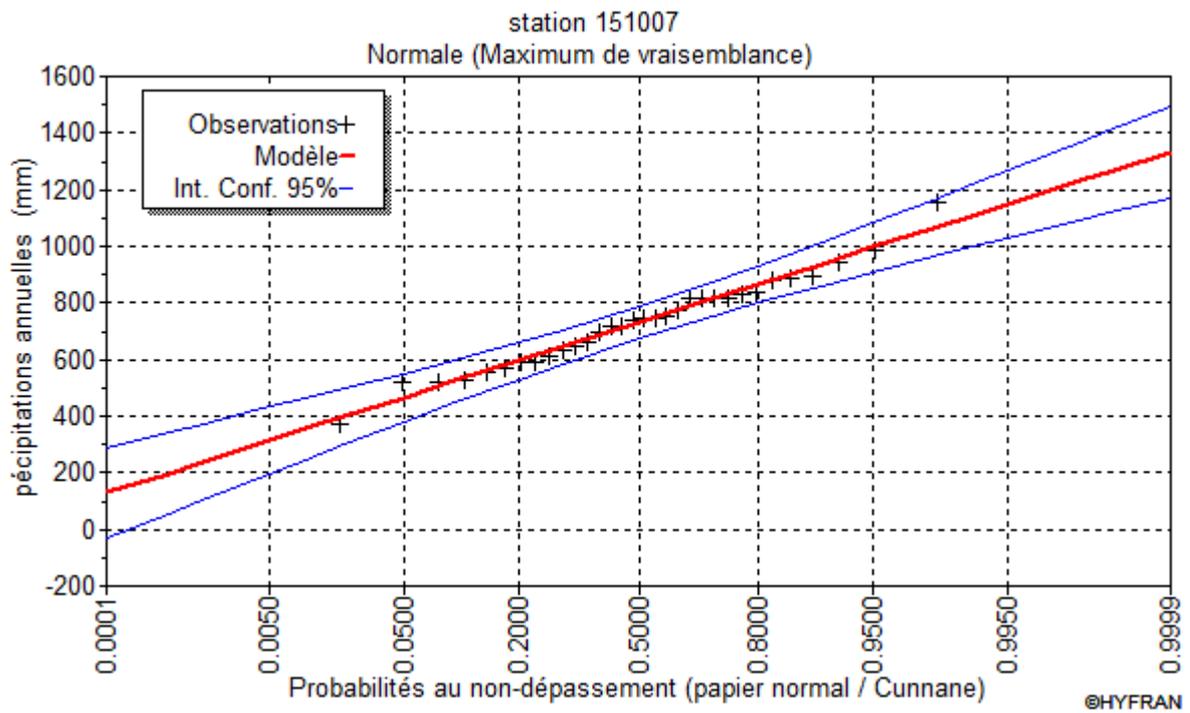












## Annexe n°3 : Calcul et classification des SPI

### Station : 150101

années	Précipitations annuelle	Spi	classification
1980	413,2	-0,34	Proche de la normale
1981	454	-0,03	Proche de la normale
1982	345,6	-0,86	Proche de la normale
1983	255,6	-1,54	Très sec
1984	369,7	-0,67	Proche de la normale
1985	404,1	-0,41	Proche de la normale
1986	387,2	-0,54	Proche de la normale
1987	265,1	-1,47	Modérément sec
1988	591	1,01	Modérément humide
1989	539,9	0,62	Proche de la normale
1990	488,7	0,23	Proche de la normale
1991	487,4	0,22	Proche de la normale
1992	307	-1,15	Modérément sec
1993	460,1	0,01	Proche de la normale
1994	613,1	1,18	Modérément humide
1995	438,8	-0,15	Proche de la normale
1996	284,6	-1,32	Modérément sec
1997	499,1	0,31	Proche de la normale
1998	423,9	-0,26	Proche de la normale
1999	292,9	-1,26	Modérément sec
2000	443,5	-0,11	Proche de la normale
2001	287,8	-1,29	Modérément sec
2002	840,1	2,9	Extrêmement humide
2003	621,8	2,24	Modérément humide
2004	358,6	-0,76	Proche de la normale
2005	567,2	0,83	Proche de la normale
2006	508,6	0,38	Proche de la normale
2007	440,2	-0,14	Proche de la normale
2008	553,4	0,72	Proche de la normale
2009	594,4	1,03	Modérément humide
2010	659,9	1,53	Très humide
2011	468,5	0,08	Proche de la normale

### Station : 150204

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	429,1	1,06	Modérément humide
1981	337,6	0,18	Proche de la normale
1982	320,7	0,02	Proche de la normale
1983	227,3	-0,89	Proche de la normale
1984	287,9	-0,3	Proche de la normale
1985	361,9	0,41	Proche de la normale
1986	384,9	0,64	Proche de la normale
1987	230,1	-0,86	Proche de la normale
1988	298,3	-0,2	Proche de la normale
1989	310,3	-0,08	Proche de la normale
1990	251,5	-0,65	Proche de la normale
1991	170,3	-1,44	Modérément sec
1992	213,5	-1,02	Modérément sec
1993	237,4	-0,79	Proche de la normale
1994	414,3	0,92	Proche de la normale
1995	343,3	0,24	Proche de la normale
1996	214,2	-1,01	Modérément sec
1997	384	0,63	Proche de la normale
1998	156,9	-1,57	Très sec
1999	169	-1,54	Très sec
2000	383,1	0,62	Proche de la normale
2001	98,9	-2,13	Extrêmement sec
2002	582,7	2,55	Extrêmement humide
2003	468,8	1,45	Modérément humide
2004	352,5	0,32	Proche de la normale
2005	301	-0,17	Proche de la normale
2006	386,8	0,66	Proche de la normale
2007	358,6	0,38	Proche de la normale
2008	430,9	1,08	Modérément humide
2009	407,7	0,86	Proche de la normale
2010	384,1	0,63	Proche de la normale
2011	311,8	-0,07	Proche de la normale

### Station : 150301

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	385,2	0,96	Proche de la normale
1981	256,4	-0,42	Proche de la normale
1982	299	0,04	Proche de la normale
1983	227	-0,74	Proche de la normale
1984	273,7	-0,24	Proche de la normale
1985	334,4	0,42	Proche de la normale
1986	396,9	1,09	Modérément humide
1987	251,2	-0,48	Proche de la normale
1988	273	-0,24	Proche de la normale
1989	285,7	-0,11	Proche de la normale
1990	88,4	-2,23	Extrêmement sec
1991	138,1	-1,69	Très sec
1992	216,4	-0,85	Proche de la normale
1993	233,4	-0,67	Proche de la normale
1994	381,8	0,93	Proche de la normale
1995	252,1	-0,47	Proche de la normale
1996	212,2	-0,9	Proche de la normale
1997	399,5	1,12	Modérément humide
1998	227,9	-0,73	Proche de la normale
1999	213,4	-0,88	Proche de la normale
2000	315,3	0,21	Proche de la normale
2001	183,9	-1,2	Modérément sec
2002	528,6	2,5	Extrêmement humide
2003	461,8	1,79	Très humide
2004	323,5	0,3	Proche de la normale
2005	283,8	-0,13	Proche de la normale
2006	308,4	0,14	Proche de la normale
2007	264,9	-0,33	Proche de la normale
2008	383,9	0,95	Proche de la normale
2009	366,1	0,76	Proche de la normale
2010	410,1	1,23	Modérément humide
2011	287,2	-0,09	Proche de la normale

### Station : 150401

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	372,6	0,97	Proche de la normale
1981	359,7	0,82	Proche de la normale
1982	396,8	1,26	Modérément humide
1983	184,5	-1,27	Modérément sec
1984	234,9	-0,67	Proche de la normale
1985	372,7	0,97	Proche de la normale
1986	319,6	0,34	Proche de la normale
1987	205,9	-1,01	Modérément sec
1988	254,5	-0,43	Proche de la normale
1989	214,9	-0,9	Proche de la normale
1990	105	-2,21	Extrêmement sec
1991	378,1	1,04	Modérément humide
1992	216,2	-0,89	Proche de la normale
1993	229,7	-0,73	Proche de la normale
1994	348,4	0,68	Proche de la normale
1995	244,7	-0,55	Proche de la normale
1996	212,8	-0,93	Proche de la normale
1997	320,3	0,35	Proche de la normale
1998	229,9	-0,73	Proche de la normale
1999	223,1	-0,81	Proche de la normale
2000	269,6	-0,25	Proche de la normale
2001	158,7	-1,57	Très sec
2002	421,1	1,55	Très humide
2003	456,5	1,97	Très humide
2004	249,7	-0,49	Proche de la normale
2005	322,6	0,38	Proche de la normale
2006	404,8	1,35	Modérément humide
2007	333,4	0,51	Proche de la normale
2008	370,1	0,94	Proche de la normale
2009	294,8	0,05	Proche de la normale
2010	331,2	0,48	Proche de la normale
2011	272,9	-0,21	Proche de la normale

### Station : 150608

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	407,4	0,18	Proche de la normale
1981	379,9	-0,1	Proche de la normale
1982	344,2	-0,46	Proche de la normale
1983	339,8	-0,51	Proche de la normale
1984	505,2	1,19	Modérément humide
1985	511,1	1,25	Modérément humide
1986	566,5	1,82	Très humide
1987	364,1	-0,26	Proche de la normale
1988	550,5	1,65	Très humide
1989	373,3	-0,17	Proche de la normale
1990	371,1	-0,19	Proche de la normale
1991	577,7	1,93	Très humide
1992	465,4	0,78	Proche de la normale
1993	348,6	-0,42	Proche de la normale
1994	391,6	0,02	Proche de la normale
1995	517	1,31	Modérément humide
1996	229,4	-1,64	Très sec
1997	426	0,38	Proche de la normale
1998	360,8	-0,29	Proche de la normale
1999	296,2	-0,96	Proche de la normale
2000	223,2	-1,7	Très sec
2001	202,2	-1,92	Très sec
2002	510,3	1,24	Modérément humide
2003	460,4	0,73	Proche de la normale
2004	338,7	-0,52	Proche de la normale
2005	387	-0,02	Proche de la normale
2006	300,5	-0,91	Proche de la normale
2007	302,2	-0,89	Proche de la normale
2008	366,4	-0,24	Proche de la normale
2009	321,2	-0,7	Proche de la normale
2010	352,9	-0,37	Proche de la normale
2011	371,1	-0,19	Proche de la normale

### Station : 150614

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	151,4	-0,66	Proche de la normale
1981	290	0,65	Proche de la normale
1982	229,4	0,08	Proche de la normale
1983	130,1	-0,86	Proche de la normale
1984	173,8	-0,45	Proche de la normale
1985	168,8	-0,49	Proche de la normale
1986	350	1,22	Modérément humide
1987	73	-1,4	Modérément sec
1988	313,8	0,88	Proche de la normale
1989	322,9	0,96	Proche de la normale
1990	179,9	-0,39	Proche de la normale
1991	539,5	3,01	Extrêmement humide
1992	255	0,32	Proche de la normale
1993	134,9	-0,82	Proche de la normale
1994	397,1	1,67	Très humide
1995	296,8	0,72	Proche de la normale
1996	130,8	-0,85	Proche de la normale
1997	242	0,2	Proche de la normale
1998	178,5	-0,4	Proche de la normale
1999	164,5	-0,54	Proche de la normale
2000	79	-1,34	Modérément sec
2001	77,5	-1,36	Modérément sec
2002	196,5	-0,23	Proche de la normale
2003	124	-0,92	Proche de la normale
2004	112,5	-1,03	Modérément sec
2005	186	-0,33	Proche de la normale
2006	232,5	0,11	Proche de la normale
2007	406,8	1,76	Très humide
2008	257,9	0,35	Proche de la normale
2009	232,4	0,11	Proche de la normale
2010	266,9	0,43	Proche de la normale
2011	179,9	-0,39	Proche de la normale

### Station : 150706

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	559	-0,08	Proche de la normale
1981	561,9	-0,06	Proche de la normale
1982	543,7	-0,18	Proche de la normale
1983	677,4	0,74	Proche de la normale
1984	794,1	1,56	Très humide
1985	729,4	1,11	Modérément humide
1986	765,1	1,35	Modérément humide
1987	404,6	-1,15	Modérément sec
1988	780,9	1,46	Modérément humide
1989	422	-1,03	Modérément sec
1990	546,1	-0,17	Proche de la normale
1991	816,1	1,71	Très humide
1992	590,6	0,14	Proche de la normale
1993	421,2	-1,04	Modérément humide
1994	663,9	0,65	Proche de la normale
1995	714,2	1	Proche de la normale
1996	310,5	-1,8	Très sec
1997	669,5	0,69	Proche de la normale
1998	592,2	0,15	Proche de la normale
1999	399	-1,19	Modérément sec
2000	412,5	-1,1	Modérément sec
2001	359,6	-1,46	Modérément sec
2002	828,6	1,8	Très humide
2003	663	0,64	Proche de la normale
2004	503,7	-0,46	Proche de la normale
2005	550,2	-0,14	Proche de la normale
2006	484,4	-0,6	Proche de la normale
2007	515,5	-0,38	Proche de la normale
2008	540	-0,21	Proche de la normale
2009	379,5	-1,33	Modérément sec
2010	502,8	-0,47	Proche de la normale
2011	546,1	-0,17	Proche de la normale

### Station : 150707

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	308,6	-0,71	Proche de la normale
1981	528,2	0,66	Proche de la normale
1982	372,9	-0,31	Proche de la normale
1983	365,8	-0,35	Proche de la normale
1984	443,6	0,13	Proche de la normale
1985	342	-0,5	Proche de la normale
1986	608,7	1,16	Modérément humide
1987	157,8	-1,65	Très sec
1988	556,5	0,83	Proche de la normale
1989	569,5	0,92	Proche de la normale
1990	363,2	-0,37	Proche de la normale
1991	882,1	2,86	Extrêmement humide
1992	471,6	0,31	Proche de la normale
1993	222,7	-1,24	Modérément sec
1994	676,6	1,58	Très humide
1995	546,1	0,77	Proche de la normale
1996	225,9	-1,22	Modérément sec
1997	452,9	0,19	Proche de la normale
1998	306,4	-0,72	Proche de la normale
1999	258,2	-1,02	Modérément sec
2000	247,4	-1,09	Modérément sec
2001	253	-1,05	Modérément sec
2002	387,3	-0,22	Proche de la normale
2003	282,7	-0,87	Proche de la normale
2004	266,1	-0,97	Proche de la normale
2005	423,3	0,01	Proche de la normale
2006	439,2	0,1	Proche de la normale
2007	690,6	1,67	Très humide
2008	513,3	0,57	Proche de la normale
2009	464,2	0,26	Proche de la normale
2010	528,7	0,66	Proche de la normale
2011	363,2	-0,37	Proche de la normale

### Station : 150801

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	297,9	-0,27	Proche de la normale
1981	398,3	1,11	Modérément humide
1982	308,9	-0,12	Proche de la normale
1983	256,9	-0,84	Proche de la normale
1984	335,1	0,24	Proche de la normale
1985	331,2	0,19	Proche de la normale
1986	410,4	1,28	Modérément humide
1987	270	-0,66	Proche de la normale
1988	344,8	0,37	Proche de la normale
1989	369,5	0,71	Proche de la normale
1990	329,9	0,17	Proche de la normale
1991	265,2	-0,72	Proche de la normale
1992	265,2	-0,72	Proche de la normale
1993	241,5	-1,05	Modérément sec
1994	371,4	0,74	Proche de la normale
1995	422,8	1,45	Modérément humide
1996	196,2	-1,67	Très sec
1997	328,6	0,15	Proche de la normale
1998	308,9	-0,12	Proche de la normale
1999	224,4	-1,28	Modérément sec
2000	226,1	-1,26	Modérément sec
2001	193,8	-1,71	Modérément sec
2002	495	2,44	Extrêmement humide
2003	386,5	0,95	Proche de la normale
2004	310,5	-0,1	Proche de la normale
2005	229,8	-1,21	Modérément sec
2006	292	-0,35	Proche de la normale
2007	276,3	-0,57	Proche de la normale
2008	357,2	0,55	Proche de la normale
2009	435,1	1,62	Très humide
2010	375,5	0,8	Proche de la normale
2011	308,9	-0,12	Proche de la normale

### Station : 150807

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	526,6	0,39	Proche de la normale
1981	604,6	0,97	Proche de la normale
1982	460,4	-0,11	Proche de la normale
1983	268,1	-1,53	Très sec
1984	502,6	0,21	Proche de la normale
1985	435,1	-0,29	Proche de la normale
1986	624,1	1,11	Modérément humide
1987	268,1	-1,53	Très sec
1988	518,3	0,32	Proche de la normale
1989	487,3	0,09	Proche de la normale
1990	507,3	0,24	Proche de la normale
1991	362,8	-0,83	Proche de la normale
1992	362,8	-0,83	Proche de la normale
1993	324,2	-1,12	Modérément sec
1994	477,1	0,02	Proche de la normale
1995	533,8	0,44	Proche de la normale
1996	285,5	-1,4	Modérément sec
1997	602,3	0,95	Proche de la normale
1998	460,4	-0,11	Proche de la normale
1999	328,1	-1,09	Modérément sec
2000	407,7	-0,5	Proche de la normale
2001	272,4	-1,5	Très sec
2002	843,5	2,74	Extrêmement humide
2003	633,5	1,18	Très humide
2004	475,5	0,01	Proche de la normale
2005	332,7	-1,05	Modérément sec
2006	567	0,69	Proche de la normale
2007	407,7	-0,5	Proche de la normale
2008	595,3	0,9	Proche de la normale
2009	664	1,41	Modérément humide
2010	588,9	0,85	Proche de la normale
2011	460,4	-0,11	Proche de la normale

### Station : 151007

années	Précipitations annuelles	Spi	classification
1980	777,8	0,29	Proche de la normale
1981	755,3	0,15	Proche de la normale
1982	650,4	-0,5	Proche de la normale
1983	697,7	-0,21	Proche de la normale
1984	838	0,66	Proche de la normale
1985	738,1	0,04	Proche de la normale
1986	816,8	0,53	Proche de la normale
1987	525,9	-1,27	Modérément sec
1988	878	0,91	Proche de la normale
1989	719,8	-0,07	Proche de la normale
1990	661,8	-0,43	Proche de la normale
1991	609,7	-0,75	Proche de la normale
1992	594	-0,85	Proche de la normale
1993	566,2	-1,02	Modérément sec
1994	989,8	1,6	Très humide
1995	945,1	1,32	Modérément humide
1996	594,6	-0,85	Proche de la normale
1997	815,6	0,52	Proche de la normale
1998	520,4	-1,3	Modérément sec
1999	523,1	-1,29	Modérément sec
2000	747,3	0,1	Proche de la normale
2001	374,2	-2,21	Extrêmement sec
2002	1158	2,64	Extrêmement humide
2003	819,1	0,54	Proche de la normale
2004	893,5	1	Proche de la normale
2005	636,6	-0,59	Proche de la normale
2006	819,2	0,54	Proche de la normale
2007	830	0,61	Proche de la normale
2008	884,8	0,95	Proche de la normale
2009	554	-1,1	Modérément sec
2010	744,5	0,08	Proche de la normale
2011	721,7	-0,06	Proche de la normale