



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohamed El bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences Agronomiques



## Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques

Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

## Thème

**Caractérisation de la sécheresse climatique dans la région de  
Bordj Bou Arreridj et développement d'une application de  
calcul de l'indice standard des précipitations sous  
l'environnement Visual Basic**

Présenté par : MEZIANI NAIMA

MOUDABER MANAL

Devant le jury :

Président : Mme MAAFI. O

MAA (Université de BBA).

Encadrant : Mr AIT MECHEDAL. M

MCB (Université de BBA).

Examineur : Mme. CHOURGHAL. N

MCA (Université de BBA).

Année universitaire : 2020/2021

## Remerciements

Nous remercions tout d'abord *Allah* tout-puissant de nous avoir donnée la force et l'aide pour réaliser ce travail.

À l'heure où nous apportons la touche finale à ce mémoire, nous tenons à remercier tout d'abord la personne qui nous a permis de réaliser ce mémoire : Mr MOULOUD AIT MECHEDAL pour avoir accepté de nous encadrer à travers ce sujet. Nous le remercions aussi pour ses orientations, ses judicieux conseils et de sa disponibilité durant toute la période de notre projet.

Nos profonds remerciements vont à :

Mme Bourahla Amel, Présidente du jury pour avoir acceptée de diriger notre soutenance.

Mme Chourghal Nacira pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Que tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de nos vifs remerciements.

Nous voudrions aussi exprimer notre vive reconnaissance envers tous les enseignants du département d'agronomie ainsi que tous ceux qui ont participé à notre formation.

## Dédicaces

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

*A mon père SAID, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études. Puisse Dieu, le tout puissant, l'avoir en sa sainte miséricorde.*

*A ma mère, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices.*

*A mes chères sœurs : NABILA et SIHEM.*

*A mes chers frères : DJAMEL EDDIN et BADIS.*

*Une spéciale dédicace a ma chère grand-mère.*

*A ma cousine Wafa.*

*A ma binôme et mon amie proche MANAL.*

*A ma promotion 2020-2021*

*A mes amis et tous qui m'aiment.*

**NAIMA**

## **Dédicace**

*Avec l'aide de dieu tout puissant, on a pu achever ce modeste travail que je dédie,  
Tout particulièrement à celle qui m'a donné la vie et la illuminée jour après jour,  
celle qui a toujours été à mes côtés et m'a soutenu, ma très tendre mère FARIDA,  
décédé trop tôt, Dieu repose son âme.*

*A mon père DJAMEL qui m'a protégé et aider tout au long de ma vie et m'a  
soutenu durant mes études.*

*A mon petit frère MOUHAMED.*

*A ma sœur NOURHEN.*

*A ma tante ABLA.*

*A ma binôme et mon amie proche NAIMA.*

*A ma cousine IMTINEN.*

*A mon ami ISHAK.*

*A ma promotion 2020-2021*

**MANAL**

## **Table des matières**

Remerciement

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

**Introduction.....1**

**Matériels et méthodes.....3**

**1. Matériels.....3**

1.1. La zone d'étude (la région de Bordj Bou Arreridj).....3

1.2. Les données climatiques.....3

**2. Méthodes .....5**

2.1. Indice Standard des précipitations (SPI).....5

2.1.1. Présentation de l'indice.....5

2.1.2. Description de l'indice normalisé de précipitations.....6

A) Aperçu.....6

B) Destinataire.....6

C) Avantages.....6

D) Inconvénients.....6

2.2. Méthode de calcul :.....8

2.2.1. Les statistiques descriptives.....8

2.2.2. Les précipitations interannuelles.....8

2.2.3. Les précipitations saisonnières interannuelles.....8

2.2.4. L'indice SPI .....8

|   |           |
|---|-----------|
| A) À l'échelle annuel.....  | 9         |
| B) À l'échelle saisonnière.....   | 9         |
| 2.3. Visual Basic.....  | 10        |
| 2.3.1. Présentation de logiciel.....  | 10        |
| 2.3.2. Les processus de programmation.....  | 10        |
| 2.3.3. Les outils de l'environnement Visual Basic .....                               | 11        |
| A) Fenêtre code.....  | 11        |
| B) Fenêtre de conception de feuille.....  | 12        |
| C) Fenêtre explorateur de projets.....  | 12        |
| D) Fenêtre propriétés .....   | 12        |
| E) Fenêtre exécution, variables locales et espions.....                               | 12        |
| F) Boîte à outils.....  | 12        |
| J) L'explorateur d'objets.....  | 12        |
| <b>Résultats et discussions.....</b>  | <b>13</b> |
| <b>1. Résultat.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1. Programmation.....   | 13        |
| 1.1.1. Le schéma général de l'application.....  | 13        |
| 1.1.2. La partie visuelle de l'application.....                                       | 15        |
| 1.1.3. Le code en langage Visual Basic.....   | 15        |
| 1.1.4. Test de l'application.....   | 18        |
| 1.2. Étude de cas : caractérisation de l'état de sécheresse à Bordj Bou Arreridj..... | 18        |
| 1.2.1. Les statistiques descriptives.....   | 18        |
| 1.2.2. Évolution des précipitations.....  | 19        |
| 1.2.2.1. Évolution interannuelle de la pluviométrie.....                              | 19        |

|  |           |
|--|-----------|
| 1.2.2.2. Évolution saisonnière interannuelle de la pluviométrie..... | 20        |
| A) Automne .....   | 20        |
| B) Hiver.....  | 21        |
| C) Printemps.....  | 22        |
| D) Été.....  | 22        |
| 1.2.3. Indice Standard des précipitations (SPI).....                 | 23        |
| 1.2.3.1. Echelle annuelle.....                                       | 23        |
| 1.2.3.2. Caractérisation annuelle de la sécheresse.....              | 25        |
| 1.2.3.3. Echelle saisonnière .....                                   | 25        |
| A) Automne.....  | 25        |
| B) Hiver.....  | 27        |
| C) Printemps .....   | 28        |
| D) Été.....  | 30        |
| 1.2.3.4. Caractérisation saisonnière de la sécheresse.....           | 31        |
| <b>2. Synthèse et discussion.....</b>                                | <b>32</b> |
| <b>Conclusion .....</b>  | <b>36</b> |
| <b>Références bibliographiques</b>                                   |           |
| <b>Résumé</b>  |           |

# Liste des abréviations

## Liste des abréviations :

- **SPI** : Indice Standardisé des Précipitations.
- **OSS** : Observation du Sahara et du Sahel.
- **OMM** : Organisation Météorologique Mondiale.
- **IISD** : International Institute for Sustainable Development.
- **BBA** : Bordj Bou Arreridj.
- **Lat** : latitude
- **Alt** : altitude
- **P** : Précipitation.
- **Pi** : Précipitation de l'année i.
- **Pm** : Précipitation moyenne de la série.
- **T** : Température.
- **°C** : degré celsius
- **$\sigma$**  : Ecart type.
- **N** : Nord
- **E** : Est
- **IMRaD** : Introduction, Méthodes, Résultats et (and) Discussion.
- **VBA** : Visual Basic Application
- **VB** : Visual Basic
- **RH** : Réserve Hydrique

# Liste des tableaux

## Liste des tableaux :

- **Tableau 1** : Les données annuelles des précipitations de la région de BBA durant la période de 1998 jusqu'à 2018.....4
- **Tableau 2** : Les données saisonnières des précipitations de la région de BBA durant la période de 1998 jusqu'à 2018.....5
- **Tableau 3** : Valeurs de l'indice SPI.....7
- **Tableau 4** : Probabilité d'occurrence. ....8
- **Tableau 5** : Les statistiques descriptives des précipitations annuelles de la région de BBA entre 1998 et 2018 (mm).....19
- **Tableau 6** : Les statistiques descriptives des précipitations saisonnières de la région de BBA entre 1998 et 2018 (mm).....19
- **Tableau 7** : Présentation des valeurs annuelles de l'indice SPI.....23
- **Tableau 8** : Pourcentage des fréquences de l'indice SPI annuel dans la région d'étude (1998-2018).....25
- **Tableau 9** : Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison d'Automne)...27
- **Tableau 10** : Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison d'Hiver).....28
- **Tableau 11** : Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison du Printemps).....29
- **Tableau 12** : Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison d'Été).....31
- **Tableau 13** : Pourcentage des fréquences de l'indice SPI saisonnière dans la région d'étude (1998-2018).....32

# Liste des figures

## Liste des figures :

|  |    |
|--|----|
| ➤ <b>Figure 1</b> : localisation de la wilaya de BBA.....  | 3  |
| ➤ <b>Figure 2</b> : Les éléments de l'environnement Visual Basic.....  | 11 |
| ➤ <b>Figure 3</b> : Organigramme général de l'application.....   | 14 |
| ➤ <b>Figure 4</b> : L'interface graphique de l'application.....  | 15 |
| ➤ <b>Figure 5</b> : Évolution des précipitations annuelles de la région de BBA (1998-2018).....                  | 20 |
| ➤ <b>Figure 6</b> : Évolution de la précipitation de la saison d'Automne de la région de BBA (1998-2018).....    | 20 |
| ➤ <b>Figure 7</b> : Évolution de la précipitation de la saison d'Hiver de la région de BBA (1998-2018).....      | 21 |
| ➤ <b>Figure 8</b> : Évolution de la précipitation de la saison du Printemps de la région de BBA (1998-2018)..... | 22 |
| ➤ <b>Figure 9</b> : Évolution de la précipitation de la saison d'Été de la région de BBA (1998-2018).....        | 22 |
| ➤ <b>Figure 10</b> : Evolution de l'intensité annuelle de la sécheresse (SPI) durant la période (1998-2018)..... | 24 |

# INTRODUCTION

### Introduction :

Le climat dépend des conditions moyennes de température, de vent et de précipitations existantes à un moment donné. Le terme climat vient de la racine grecque « *klino* » qui signifie inclinaison : les observateurs de la nature avaient en effet constaté que la chaleur dépendait de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol (Jacques, 1985).

Depuis des millénaires, le climat de la terre varie selon les époques et les lieux. Au cours des dernières décennies cependant, les changements climatiques semblent s'être accélérés. Dans ces conditions, il n'est pas surprenant que le public s'interroge sur la réalité de ces changements, leurs causes, leurs devenir et plus encore, leurs conséquences immédiates et lointaines sur les modes de vie, la santé, les écosystèmes et l'économie (Chapron, 2010).

La sécheresse parmi les événements climatiques extrêmes, est une catastrophe écologique observée très fréquemment dans le monde entier, causant d'énormes pertes dans l'agriculture et des dommages dans les écosystèmes chaque année (Xingjun *et al.*, 2014).

Au pays de Maghreb, dont l'Algérie fait partie une augmentation nette de la fréquence des sécheresses a été observée. Ainsi, on est passé d'une sécheresse tous les dix ans au début du 20<sup>ème</sup> siècle à cinq à six années de sécheresses en dix ans actuellement (IISD, 2003).

Les facteurs déterminants pour caractériser la sécheresse sont les précipitations, la température, le vent et l'humidité (OMM, 2012), on englobe sous le terme de précipitations, toutes les eaux météorologiques, ou hydrométéores, qui tombent à la surface de la terre, tout sous forme liquide (pluie) que solide (neige, grêle, grésil) (L'hote, 1993).

La définition d'une sécheresse est complexe et dépend fortement du domaine considéré, mais quatre types de sécheresses peuvent cependant être distingués : sécheresses météorologique, agricole, hydrologiques, et socio-économiques (Wilhite et Glantz, 1985).

La sécheresse météorologique se caractérise par une absence prolongée, un déficit marqué ou une faible distribution des précipitations par rapport à la normale climatique (Khaldi, 2005). Elle est donc un phénomène naturel dangereux de caractère insidieux, lorsqu'elle persiste durant une saison entière ou plus, cette insuffisance n'empêche de répondre comme il convient aux besoins des sociétés humaines et de l'environnement (OMM, 2006).

Dans les régions où la pluie est reçue toute l'année. La définition de la sécheresse est basée sur le nombre de jours où les précipitations sont inférieures à un niveau critique donnée (OSS, 2013).

L'Algérie du nord a été focalisée par diverses études de pluviométries et /ou de sécheresses, parmi ces études citons celle de (Hamlaoui *et al.*, 2013 ; Meddi *et al.*, 2010 ; Taibi *et al.*, 2017 ; Zeroual *et al.*, 2017) qui ont montré une diminution des totaux de précipitations dans le nord-ouest de l'Algérie. Zeroual *et al.* (2017) ont également signalé un réchauffement amplifié. Zeroual *et al.* (2013) ont indiqué aussi une diminution remarquable des débits moyens mensuels au nord de l'Algérie, ce qui est une conséquence directe de la baisse des précipitations. La question qui se pose c'est à quel point la région de Bordj Bou Arreridj du nord d'Algérie est touchée par la sécheresse ?

Plusieurs indices et méthodes ont été développés et utilisés pour mieux identifier et analyser les caractéristiques de la sécheresse, parmi eux l'indice standardisé de précipitations (SPI). Développé par McKee *et al.* En 1993 pour la détermination des déficits pluviométriques pour une période donnée.

Une application de calcul de SPI a été créée par (Semaoune et Ziadi, 2019) en utilisant le Visual Basic.

Le Visual Basic est basé sur la simplicité du langage et le caractère visuel de l'environnement qui fait de Visual Basic un outil des plus conviviaux. Ces avantages sont nombreux : rapidité de programmation, faible structuration des données, possibilité de programmer toute sorte de programmes.

L'objectif principal de ce travail est :

- L'amélioration de l'application de calcul de SPI créé par (Semaoune et Ziadi, 2019).
- L'utilisation de l'application améliorée pour la caractérisation de l'état de sécheresse dans la région de Bordj Bou Arreridj.

Le présent document est structuré en méthode IMRaD. Nous commençons par une introduction, ensuite le matériel et les méthodes d'étude utilisés. En fin les résultats obtenus sont présentés et discutés dans la dernière partie.

# Matériel et méthodes

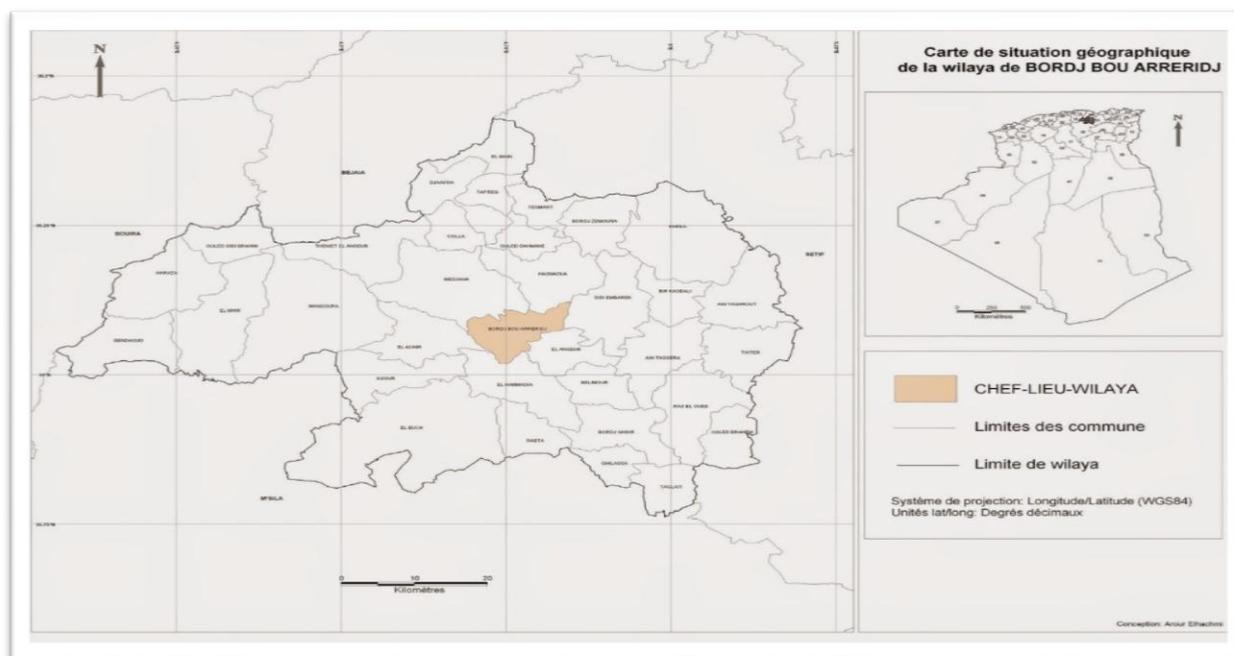
### Matériel et méthodes :

#### 1. Matériel :

##### 1.1. La zone d'étude (la région de Bordj Bou Arreridj) :

La région de Bordj Bou Arreridj (lat. 36.07° N, long. 4.77° E, alt. 930m) occupe une place stratégique dans l'Est Algérien (Figure 1). Elle est composée de trois zones géographiques qui se succèdent : une zone montagneuse au nord avec la chaîne des Bibans, une zone de hautes plaines qui constitue la majeure partie de la région, et une zone steppique, au sud-ouest, à vocation agropastorale. L'altitude varie entre 302m et 1885m. Bordj Bou Arreridj est caractérisées par un climat méditerranéen du type « D » (Baldy, 1992), et se trouve sous la triple influence de « l'Atlas Tellien » qui limite les précipitations hivernales (350-450mm), le Sahara et « l'Atlas Saharien », responsables de masses d'air sec.

Le climat de la région est semi-tempéré avec une température moyenne du mois le plus froid comprise entre 0 et 10°C (Baldy, 1974).



**Figure1.** Localisation de la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

##### 1.2. Les données climatiques :

Les données climatiques annuelles et saisonnières sont relatives à la station métrologique de Boumergued Bordj Bou Arreridj (SMB) (1998-2018).

**Tableau 1** : Les données annuelles de la région de Bordj Bou Arreridj durant la période de 1998 jusqu'à 2018.

| <b>Année</b> | <b>Précipitation annuelle</b> |
|--------------|-------------------------------|
| <b>1998</b>  | 394.9                         |
| <b>1999</b>  | 354.6                         |
| <b>2000</b>  | 221.2                         |
| <b>2001</b>  | 258.2                         |
| <b>2002</b>  | 294.2                         |
| <b>2003</b>  | 551.4                         |
| <b>2004</b>  | 538                           |
| <b>2005</b>  | 319.1                         |
| <b>2006</b>  | 334.01                        |
| <b>2007</b>  | 457.1                         |
| <b>2008</b>  | 391                           |
| <b>2009</b>  | 406.1                         |
| <b>2010</b>  | 383.5                         |
| <b>2011</b>  | 463.88                        |
| <b>2012</b>  | 309.2                         |
| <b>2013</b>  | 392.1                         |
| <b>2014</b>  | 317.3                         |
| <b>2015</b>  | 379.8                         |
| <b>2016</b>  | 255.4                         |
| <b>2017</b>  | 214.2                         |
| <b>2018</b>  | 361.7                         |

**Source : Station météorologique de Boumergued. BBA (SMB).**

**Tableau 2 :** Les données saisonnières de la région de Bordj Bou Arreridj durant la période de 1998 jusqu'à 2018.

| <b>Année</b> | <b>Automne</b> | <b>Hiver</b> | <b>Printemps</b> | <b>Été</b> |
|--------------|----------------|--------------|------------------|------------|
| <b>1998</b>  | 91.7           | 56.4         | 236.2            | 22.8       |
| <b>1999</b>  | 137.5          | 97.8         | 36.2             | 27         |
| <b>2000</b>  | 57.8           | 73.6         | 66.6             | 40.8       |
| <b>2001</b>  | 121.2          | 127.1        | 39.3             | 3.6        |
| <b>2002</b>  | 112.3          | 43.6         | 33.2             | 60         |
| <b>2003</b>  | 97.1           | 202.4        | 117.1            | 86.3       |
| <b>2004</b>  | 112.1          | 140.1        | 195.9            | 91.4       |
| <b>2005</b>  | 100.9          | 173.1        | 61.4             | 50.3       |
| <b>2006</b>  | 73.9           | 67.1         | 144.91           | 20.1       |
| <b>2007</b>  | 131.3          | 79.2         | 228.8            | 38.1       |
| <b>2008</b>  | 126.9          | 37.5         | 94.3             | 91.8       |
| <b>2009</b>  | 92.2           | 131.7        | 108.2            | 60.8       |
| <b>2010</b>  | 107.2          | 94.9         | 136.5            | 68.9       |
| <b>2011</b>  | 122.7          | 101.8        | 161.88           | 77.1       |
| <b>2012</b>  | 105.6          | 62.1         | 109.5            | 47         |
| <b>2013</b>  | 97.2           | 105.2        | 144              | 12.5       |
| <b>2014</b>  | 55.3           | 86.6         | 93               | 47.1       |
| <b>2015</b>  | 116.1          | 193.6        | 51.8             | 94.3       |
| <b>2016</b>  | 66.9           | 39.6         | 130.9            | 11.3       |
| <b>2017</b>  | 76.6           | 78.4         | 20.5             | 28         |
| <b>2018</b>  | 92.3           | 63.9         | 184.3            | 29         |

**Source :** Station météorologique de Boumergued. BBA(SMB).

### 2. Méthodes :

#### 2.1. Indice standard des précipitations (SPI) :

##### 2.1.1. Présentation de l'indice :

C'est un indicateur statistique utilisé pour la caractérisation des sécheresses locales ou régionales. Basé sur un historique des précipitations de longue durée, le SPI permet de quantifier l'écart des précipitations d'une période, déficit ou surplus par rapport aux précipitations moyennes historiques de la période. Cette période varie généralement de 3 mois à 2 ans, selon le type de sécheresse que l'on désire suivre (McKee *et al.*, 1993).

L'indice SPI 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 relève tout aussi efficace pour analyser les périodes ou cycles humides que les périodes ou cycles secs (McKee *et al.*, 1993).

##### 2.1.2. Description de l'indice normalisé des précipitations :

**A) Aperçu :** L'indice SPI est fondé sur la probabilité de précipitations sur un laps de temps donné. La probabilité observée est transformée en un indice qui sert aussi bien à l'expérimentation qu'à l'exploitation dans plus de 70 pays (OMM, 2012).

**B) Destinataires :** Les responsables de la planification en matière de sécheresse sont nombreux à apprécier la souplesse d'utilisation de l'indice SPI. L'indice est utilisé aussi dans divers instituts de recherche, des universités et des services météorologiques et hydrologiques nationaux du monde entier, dans le cadre d'activités de suivi de la sécheresse et d'alerte précoce dans le domaine (OMM, 2012).

**C) Avantages :** Les précipitations représentent le seul paramètre dont il faut disposer. Il est possible de calculer l'indice pour diverses échelles de temps, celui-ci permettant de détecter rapidement les situations de sécheresse et d'en évaluer la gravité. Il est moins complexe que bien d'autres indices et notamment que l'indice de sécheresse de Palmer (OMM, 2012).

**D) Inconvénients :** Il ne permet de quantifier que le déficit de précipitations ; les valeurs basées sur des données préliminaires peuvent changer et les valeurs varient si la durée de la période des relevés s'allonge (OMM, 2012).

Selon l'organisation météorologique mondiale McKee *et al.* (1993) ont utilisé le système de classification présenté dans le tableau des valeurs de l'indice SPI figurant ci-après (tableau 3) pour définir l'intensité des épisodes de sécheresse en fonction de la valeur de l'indice. Ils ont aussi défini les critères d'un épisode de sécheresse pour une échelle de temps quelle qu'elle soit. Une sécheresse sévit quand l'indice présente de façon continue une valeur négative de -1,0 ou moins et se termine lorsque l'indice devient positif. Par conséquent, on distingue pour chaque épisode de sécheresse une durée, avec un commencement et une fin, et une intensité pour chaque mois durant lequel l'épisode se poursuit.

**Tableau 3** : Valeurs de l'indice SPI (McKee *et al.*, 1993).

|                 |                      |
|-----------------|----------------------|
| 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 et moins     | Extrêmement sec      |

**Source : OMM, 2012**

McKee a déterminé que l'indice SPI indiquait une légère sécheresse 24% du temps, une sécheresse modérée 9,2% du temps, une grande sécheresse 4,4% du temps et une sécheresse extrême 2,3% du temps (McKee *et al.*, 1993). L'indice étant normalisé, ces pourcentages sont ceux qui paraissent vraisemblables pour une distribution normale des valeurs de l'indice. Ainsi est-il normal de trouver 2,3% des valeurs dans la catégorie de sécheresse «extrême», cette valeur représentant la probabilité qu'une sécheresse extrême se produise. Le fait que l'indice soit normalisé permet de déterminer le caractère peu fréquent d'un épisode de sécheresse en cours (tableau 4).

**Tableau 4 :** Probabilité d'occurrence (McKee *et al.*, 1993)

| Indice SPI       | Catégorie          |
|------------------|--------------------|
| De 0 à -0,99     | Légère sécheresse  |
| De -1,00 à -1,49 | Sécheresse modérée |
| De -1,5 à -1,99  | Grande sécheresse  |
| < -2,0           | Sécheresse extrême |

Source : OMM, 2012

## 2.2. Méthode de calcul :

### 2.2.1. Les statistiques descriptives :

**La valeur maximale :** représente la valeur maximale des précipitations annuelles de toute la série.

**La valeur minimale :** représente la valeur minimale des précipitations annuelles de toute la série.

**La moyenne :** somme de toutes les valeurs d'observation / nombre d'observation.

**L'écartype :** racine carrée de la variance, il mesure donc la dispersion autour de la moyenne.

**La variance :** est la moyenne des carrés des écarts à la moyenne.

### 2.2.2. La précipitation interannuelle :

Représentent la somme des précipitations mensuelles de chaque année.

### 2.2.3. La précipitation saisonnière interannuelle :

Représentent la valeur des précipitations saisonnières (la somme des valeurs des précipitations de chaque 3 mois) de chaque année.

### 2.2.4. L'indice SPI : (OMM, 2012)

L'indice SPI d'un lieu donné se calcule, pour la période choisie, à partir des relevés à long terme des précipitations. La série des données de longue durée est ajustée à une distribution de probabilité que l'on transforme ensuite en une distribution normale pour que l'indice SPI moyen, du lieu considéré et pour le laps de temps étudié, soit égal à zéro (Edwards et McKee, 1997).

- Les valeurs positives de l'indice SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, des précipitations inférieures à la médiane.

- L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à -1,0 et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive.

Jouilil *et al.* (2013) ont adopté la formule mathématique de SPI comme suivant :

- $SPI = (p_i - p_m) / \sigma$

### A) A l'échelle annuelle :

L'indice SPI à l'échelle annuelle se calcule selon la formule suivante :

$$SPI = (p_i - p_m) / \sigma$$

- $P_i$  : les précipitations de l'année  $i$  (la somme des précipitations mensuelles de cette année) en mm. C'est-à-dire : les  $P$  de mois de janvier de l'année  $i$  +  $P$  de février + ... +  $P$  de décembre. (20 valeurs)

- $P_m$  : la moyenne de l'ensemble des précipitations interannuelles des 20 ans (une seule valeur) en mm.

- $\sigma$  : écart type interannuel de toute la série, (une seule valeur).

### B) A l'échelle saisonnière :

L'indice SPI à l'échelle saisonnière se calcule aussi selon la formule précédente mais avec des valeurs saisonnières, pour que chaque saison de chaque année se calcule séparément :

- $P_i$  : représente les précipitations saisonnières de chaque année, ou chaque saison contient trois mois :

- $P$  (Hiver) =  $P$  de mois de déc. +  $P$  de janv. +  $P$  de fév.

- $P$  (Printemps) =  $P$  de mois de Mars +  $P$  de Avril +  $P$  de Mai.

- $P$  (Été) =  $P$  de mois de Juin +  $P$  de mois de juil. +  $P$  de Aout.

- $P$  (Automne) =  $P$  de mois de sept. +  $P$  de Oct. +  $P$  de Nov.

- $P_m$  : la moyenne de l'ensemble des précipitations saisonnières interannuelles des 20 ans (4 valeurs, ou chaque saison a une valeur de précipitation moyenne) en mm. C'est-à-dire la moyenne de la somme des valeurs des précipitations saisonnières interannuelles de toute la série

Ex :

$P_m$  de l'hiver =  $P_m$  ( $P$  hiver 1998 +  $P$  hiver 1999 + ... +  $P$  2018). Et on a suivi la même méthode pour les autres saisons.

- $\sigma$  : écart type saisonnier interannuel de chaque saison durant toute la série, (4valeurs ou chaque saison a son propre valeur d'écartype).

### 2.3. Visual Basic :

#### 2.3.1. Présentation de logiciel :

Visual Basic est un langage de programmation «orienté objet» de Microsoft qui permet de programmer des applications indépendantes sous l'environnement Windows.

Il est intégré dans tous les logiciels de Bureautique de Microsoft (Word, Excel, Access) sous le nom de : VBA (Visual Basic Application). Visual Basic est un langage interprété.

Pour comprendre le processus de développement d'une application, il est utile d'assimiler certains concepts sur lesquels est fondé Visual Basic. Comme il s'agit d'un langage de développement Windows, il convient également de s'être familiarisé avec l'environnement Windows (CPR informatique, 2002).

#### 2.3.2. Les processus de programmation : d'après (Greg, 2009)

Lorsque vous programmez en Visual Basic, il convient de suivre ces quelques règles et étapes :

- Déterminer ce que votre application devra faire en créant un organigramme du programme.
- Créer la partie visuelle de votre application (les écrans et les menus avec lesquels l'utilisateur interagira).
- Ajouter le code en langage Visual Basic qui reliera tous ces éléments visuels et qui automatisera le programme.
- Tester l'application afin de déceler et d'éliminer tout bogues.
- Une fois les tests effectués, compiler le programme et distribuer l'application compilée aux utilisateurs.

### 2.3.3. Les outils de l'environnement Visual Basic : (CPR Informatique)

L'environnement comporte sept éléments principaux : la fenêtre code, la fenêtre de conception de feuille, l'explorateur de projet, la fenêtre des propriétés, la boîte à outils et l'explorateur d'objets (Figure 2).

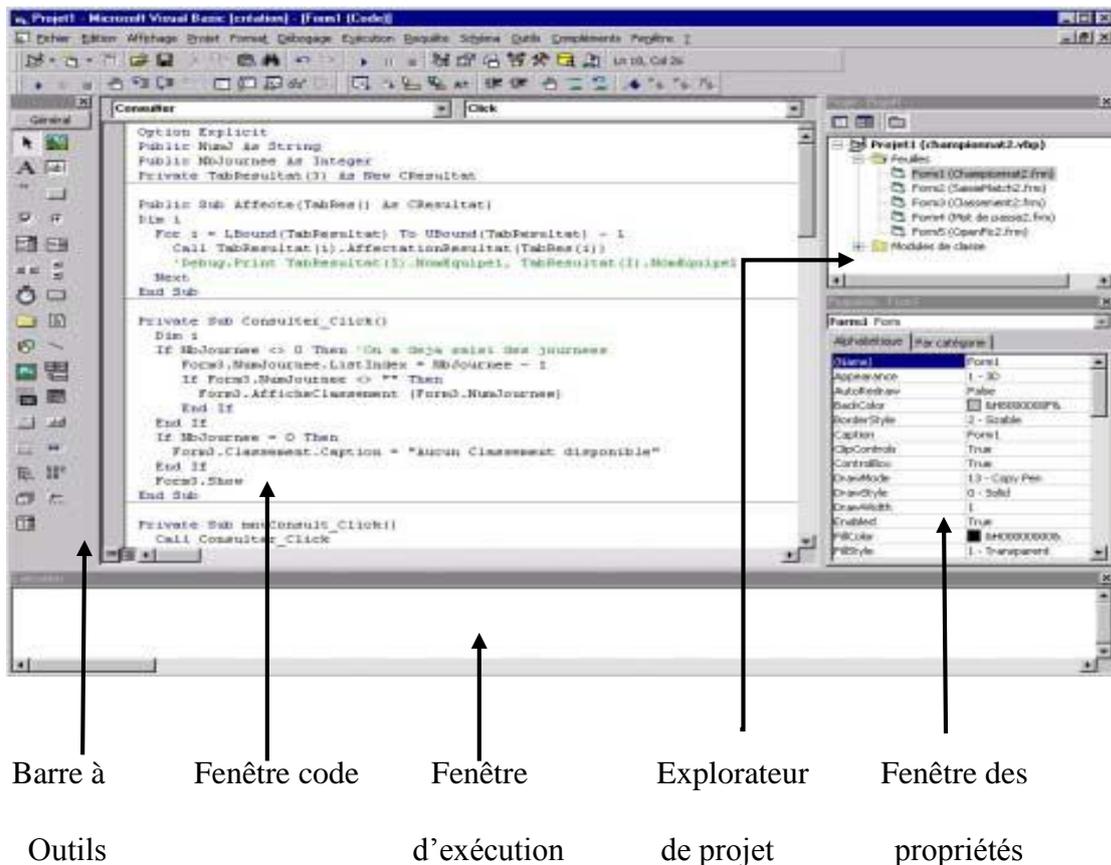


Figure 2 : Les éléments de l'environnement Visual Basic.

#### A) Fenêtre Code :

Elle fait office d'éditeur pour la saisie du code de l'application. Une fenêtre Code distincte est créée pour chaque feuille ou module de code de votre application.

### **B) Fenêtre de conception de feuille :**

Elle fait office de fenêtre personnalisable pour la création de l'interface de votre application. Vous ajoutez des contrôles, des graphismes et des images à une feuille de façon à ce qu'elle prenne l'apparence souhaitée. Chaque feuille de votre application possède sa propre fenêtre de conception de feuille.

### **C) Fenêtre Explorateur de projets :**

Cette fenêtre énumère les feuilles et les modules contenus dans votre projet en cours. Un projet est un ensemble de fichiers à partir desquels vous créez une application.

### **D) Fenêtre Propriétés :**

Cette fenêtre énumère les paramètres des propriétés de la feuille ou du contrôle sélectionné. Une propriété définit une caractéristique d'un objet, notamment sa taille, sa légende ou sa couleur.

### **E) Fenêtre Exécution, Variables locales et Espions :**

Ces fenêtres supplémentaires sont destinées au débogage de votre application. Elles ne sont disponibles que lorsque vous exécutez celle-ci dans l'environnement.

### **F) Boîte à outils**

Elle fournit un ensemble d'outils nécessaires au moment de la création pour disposer les contrôles sur une feuille. Outre la disposition par défaut de la boîte à outils, vous pouvez créer vos propres disposition personnalisées en cliquant sur la commande Ajouter un onglet du menu contextuel et en ajoutant ensuite les contrôles voulus à l'onglet ainsi créé.

### **J) L'explorateur d'objets**

Un autre élément, l'explorateur d'objets, est très intéressant pour la conception d'application. On y accède par le menu «Affichage», «Explorateur d'objets» (touche F2).

Il énumère les objets disponibles pour votre projet et vous permet de naviguer rapidement dans votre code. Vous pouvez recourir à l'Explorateur d'objet pour examiner les objets dans Visual Basic et d'autre application, connaître les méthodes et propriétés disponibles pour ces objets, ainsi que pour coller des procédures de code dans votre application.

# Résultats et discussions

### Résultats et discussions :

#### 1. Résultat :

Dans cette partie, nous présentons deux points essentiels :

- Le premier portera sur l'amélioration de l'application de caractérisation de l'état de sécheresse (SPI) (Semaoun et Ziadi, 2019).
- Le deuxième point est l'utilisation de notre application pour une caractérisation de l'état de sécheresse de Bordj Bou Arreridj.

#### 1.1. Programmation :

Dans ce point nous allons améliorer l'application SPI. La première application (Semaoun et Ziadi, 2019), est conçue pour faire seulement des calculs des valeurs de SPI.

La programmation se fait en quatre étapes (Greg, 2009) :

- Déterminer ce que notre application devra faire en créant un organigramme du programme.
- Créer la partie visuelle de notre application.
- Ajouter le code en langage Visual Basic qui reliera tous ces éléments visuels et qui automatisera Le programme.
- Tester l'application afin de déceler et d'éliminer tous les bogues.

En fin l'application amélioré vas nous permettre de :

- Faire une statistique descriptive d'une série des données.
- Réaliser des histogrammes.
- Calculer les valeurs d'SPI.
- Interpréter les valeurs d'SPI.

#### 1.1.1. l'organigramme du programme :

Le schéma ci-dessous (Figure 03) résume ce que l'application devra faire ; si le nombre des données non introduit, une nouvelle fenêtre apparaît avec un MsgBox « introduit le nombre des données ». Une fois le nombre des données est introduit et les données de précipitation sont introduites aussi, l'application utilise ces données pour la réalisation de plusieurs taches selon la demande. Si les données ne sont pas introduites l'expression «Pas de valeur SPI » s'affichera dans l'écran d'affichage.

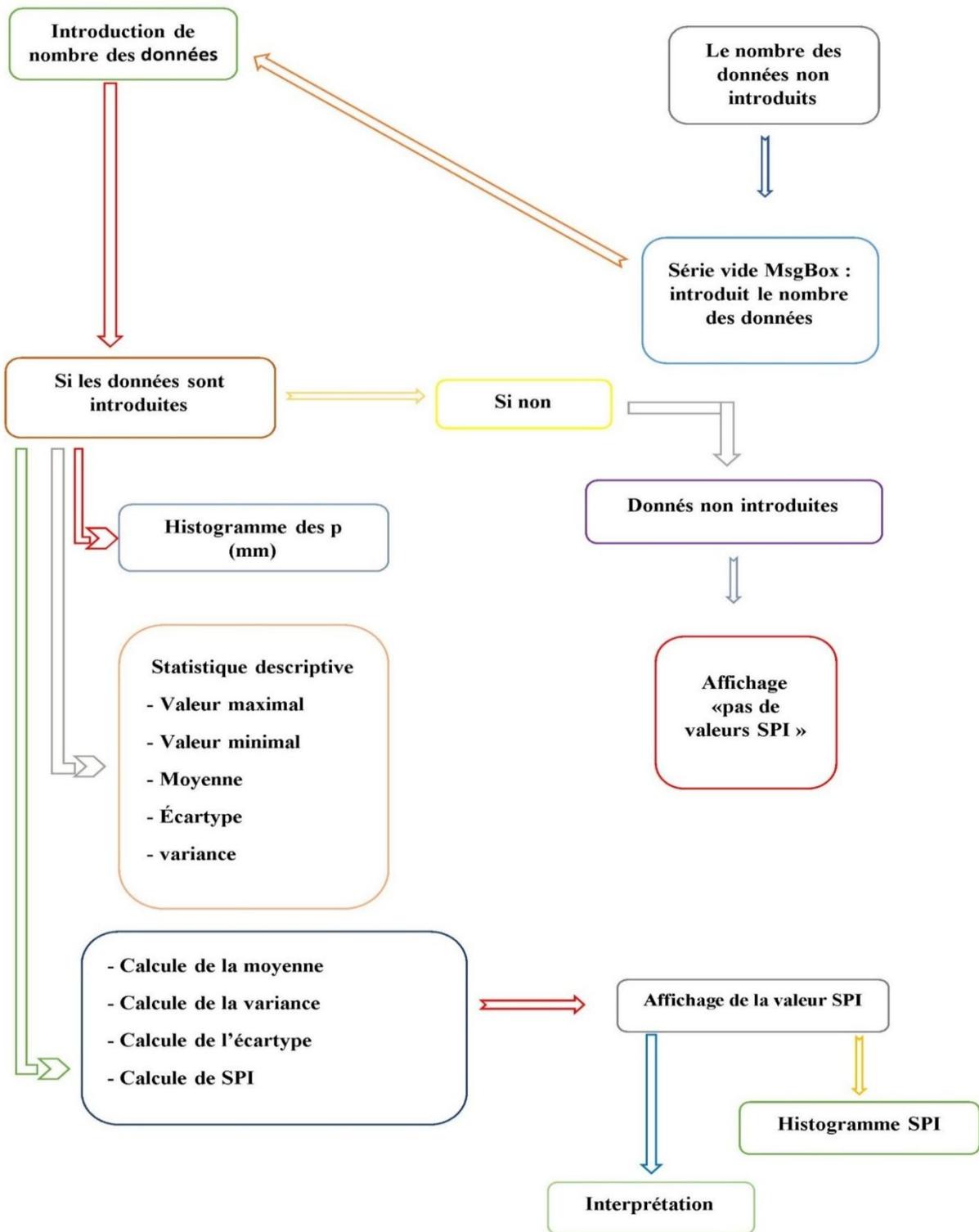
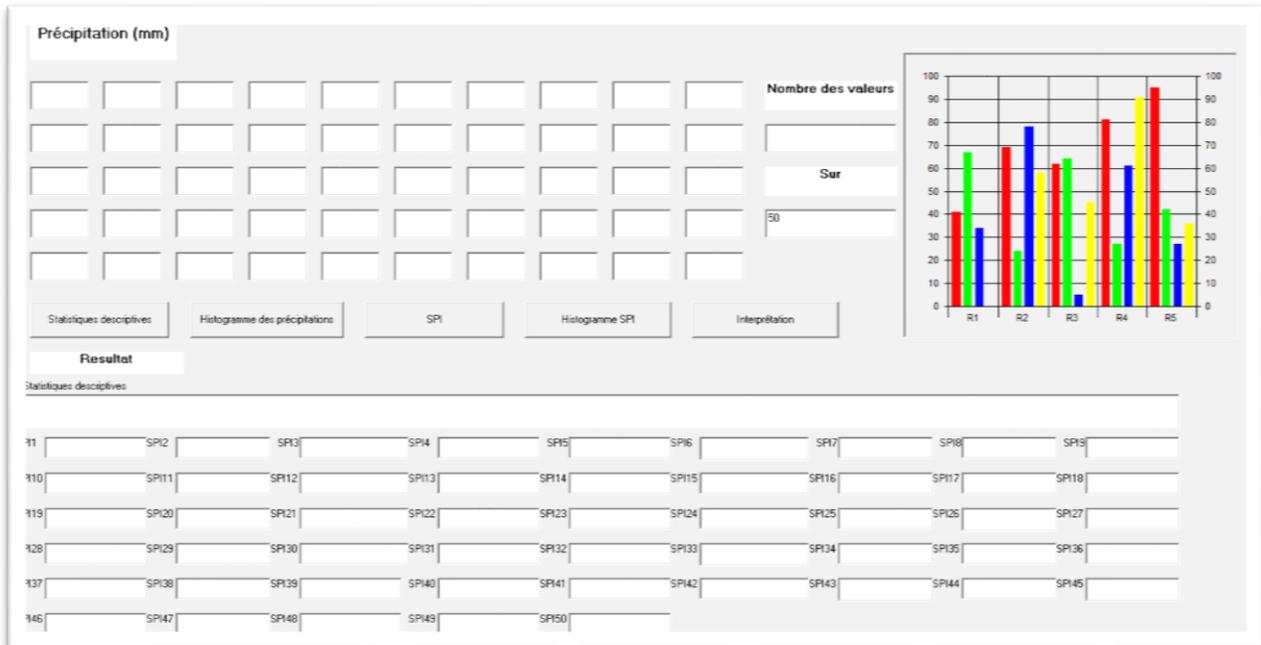


Figure 3 : Organigramme général de l'application.

### 1.1.2. La partie visuelle de l'application :

L'interface graphique de l'application comporte quatre objets principaux (figure 4) :

- 50 cases de données.
- La case de nombre de données.
- 5 boutons de commandes.
- écrans d'affichage.



**Figure 4 :** L'interface graphique de l'application.

L'application développée utilise les données des précipitations. Ce qui concerne l'introduction des données. L'application contient deux types de case. Les cases correspondantes aux données des précipitations, et une case réservée pour le nombre des valeurs entrées.

Pour l'affichage des résultats. Cette application contient cinq boutons de commande, le premier calcul les statistiques descriptives de la série des données (la somme, la valeur maximale et minimale, la moyenne, la variance et l'écartype), le deuxième calcul les valeurs d'SPI, le troisième donne les interprétations des valeurs d'SPI, ainsi un bouton de commande pour afficher l'histogramme des précipitations, et enfin le dernier bouton pour afficher l'histogramme des valeurs d'SPI.

### 1.1.3. Le code en langage Visual Basic :

Nous avons procédé à la création des codes en langage Visual Basic qui reliera tous ces éléments visuels et qui automatisera le programme.

#### A) Statistique descriptive

‘Traitement des données

```
For i = 1 To y
som = som + x(i)
rms2 = rms2 + x(i) * CLng (x(i))
Next i
'Calculs
Text53.Text = "somme=" & Chr(9) & som
Min = x(1)
For i = 1 To y
If Min > x(i) Then
Min = x(i)
End If
Next i
minimum = Min
Max = x(1)
For i = 1 To y
If Max < x(i) Then
Max = x(i)
End If
Next i
maximum = Max
moy = som / y
rms2 = rms2 / y
var = (rms2 - moy * moy)
sigma = var ^ 0.5
```

### **B) calcul SPI**

```
'Gestion de l'introduction des données
If Text51.Text = "" Then
intresponse = MsgBox("Nombre des valeurs?")
y = Val(Text51.Text)
For i = 1 To y
ReDim Preserve x(i)
x(i) = Val(Text(i).Text)
Next i
'Traitement des données
```

```
som = 0
For i = 1 To y
som = som + x(i)
rms2 = rms2 + x(i) * x(i)
Next i
moy = som / y
rms2 = rms2 / y
var = (rms2 - moy * moy)
sigma = var ^ 0.5
```

‘Calculs

```
If Text(1).Text = "" Then
SPI1 = "pas de valeur"
Else
SPI1 = (x(1) - moy) / sigma
End If
```

### **C) Interprétation de la valeur SPI**

‘Traitement des données

```
For i = 1 To y
If SPI1 = "pas de valeur" Then
INTR1 = "pas de valeur"
Else
‘Calculs
If (0 > SPI1) And (SPI1 > -0.99) Then
INTR1 = "Légère sécheresse"
Else
If (-0.99 > SPI1) And (SPI1 > -1.49) Then
INTR1 = "Sécheresse modérée"
Else
If (-1.49 > SPI1) And (SPI1 > -1.99) Then
INTR1 = "grande sécheresse"
Else
If (-1.99 > SPI1) Then
INTR1 = "sécheresse extrême"
End If
```

End If

End If

End If

End If

### **D) Histogramme des précipitations (mm)**

ReDim Preserve x(i)

x(i) = Val(Text(i).Text)

Next i

MSChart2.ChartData = x

### **E) Histogramme des valeurs SPI**

ReDim Preserve z(i)

z(i) = Val(Replace(Textx(i).Text, ",", "."))

Next i

MSChart2.ChartData = z

End Sub

#### **1.1.4. Test de l'application :**

Avant la compilation de l'application la dernière étape consiste à l'élimination de tous les bogues. Une fois les erreurs sont corrigées et les tests effectués, l'application est prête à être compiler et utiliser.

#### **1.2. Étude de cas : caractérisation de l'état de sécheresse à Bordj Bou Arreridj.**

Dans cette partie nous utilisons notre application pour ;

- Une caractérisation statistique descriptive d'une série des données pluviométrique de 21 ans de la région de Bordj Bou Arreridj entre 1998 et 2018.
- Une étude de l'indice standardisé des précipitations sur deux échelles (annuelle et saisonnière).

##### **1.2.1. Les statistiques descriptives :**

Le tableau 5 représente les valeurs descriptives des précipitations annuelles d'une série de 21 ans entre 1998 et 2018 : la valeur maximale enregistrée égale à 551.4 mm, alors que la valeur minimale égale à 214.2 mm. Avec une moyenne de 361.71, un écartype égale à 89.41 et une variance égale à 7994.77.

**Tableau 5 :** Les statistiques descriptives de la précipitation interannuelle de la région BBA entre 1998 et 2018 (mm).

| Maximum | Minimum | Moyenne | variance | Ecartype |
|---------|---------|---------|----------|----------|
| 551.4   | 214.2   | 361.71  | 7994.77  | 89.41    |

**Source : Station météorologique de Boumergued. BBA (SMB).**

Le tableau 6 représente les valeurs descriptives des précipitations saisonnières de la même période qui s'étale entre 1998 et 2018 : la valeur maximale enregistrée dans les quatre saisons est 236mm au printemps, alors que la valeur minimale égale à 4mm en été. La moyenne la plus élevée est celle du printemps. La Variance et l'écartype les plus bas sont celles de l'automne.

**Tableau 6 :** Les statistiques descriptives de la précipitation saisonnière interannuelle de la région de BBA entre 1998 et 2018 (mm).

|                 | Automne | Hiver   | Printemps | Été    |
|-----------------|---------|---------|-----------|--------|
| <b>Maximum</b>  | 138     | 202     | 236       | 94     |
| <b>Minimum</b>  | 55      | 38      | 20        | 4      |
| <b>Moyenne</b>  | 99.7    | 97.95   | 113.95    | 47.95  |
| <b>Variance</b> | 524.56  | 2190.33 | 3882.85   | 776.57 |
| <b>Écartype</b> | 22.90   | 46.80   | 62.31     | 27.87  |

### 1.2.2. Évolution des précipitations :

Nous allons étudier la variabilité des précipitations entre une période qui s'étale de 1998 et 2018 sur deux échelles annuelle et saisonnière.

#### 1.2.2.1. Évolution interannuelle de la pluviométrie :

Les précipitations annuelles de la zone d'étude varient d'une année à une autre, elles varient entre 214.2mm et 551.4mm, la plus faible est celle de l'année 2017 et la plus élevée est celle de l'année 2003. Nous remarquons une occurrence des périodes supérieures à la moyenne et inférieures à cette dernière. Cette occurrence est irrégulière par rapport à sa durée (figure 5).

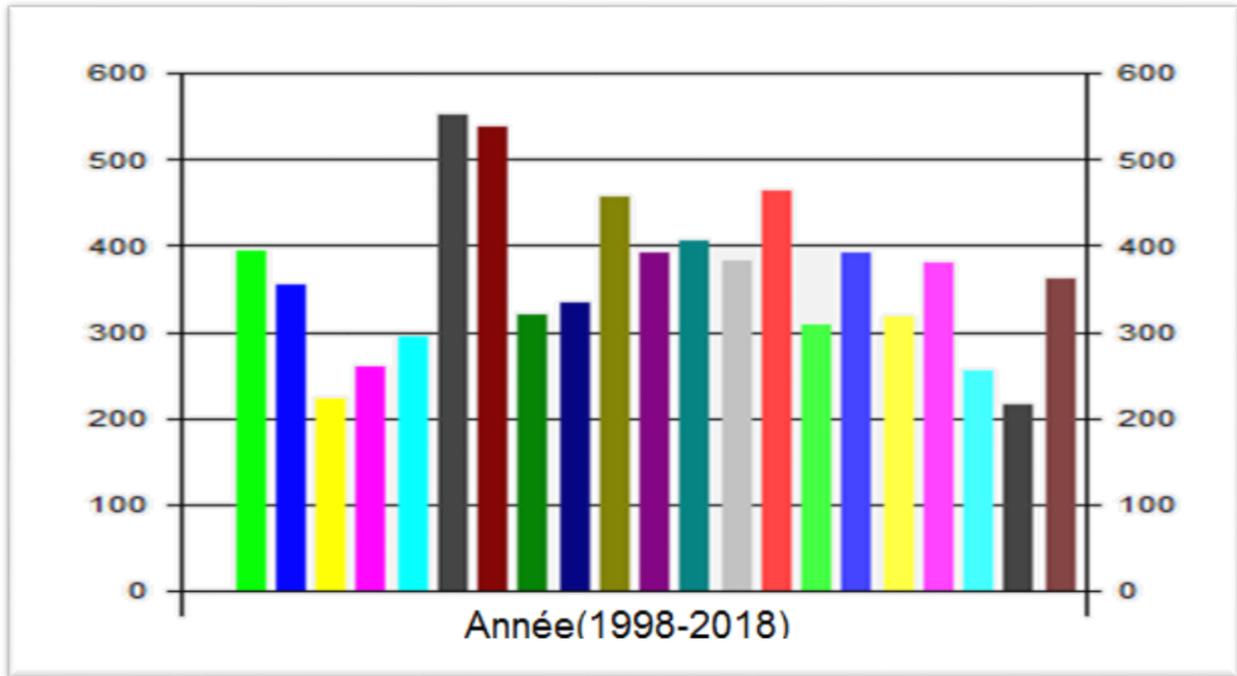


Figure 5 : Évolution des précipitations annuelles de la région de BBA (1998-2018).

1.2.2.2. Évolution saisonnière interannuelle de la pluviométrie :

Nous avons évalué l'évolution des précipitations saisonnières pour une durée qui s'étale de 1998 à 2018 dans la wilaya de BBA.

A) Saison d'Automne (1998-2018) :

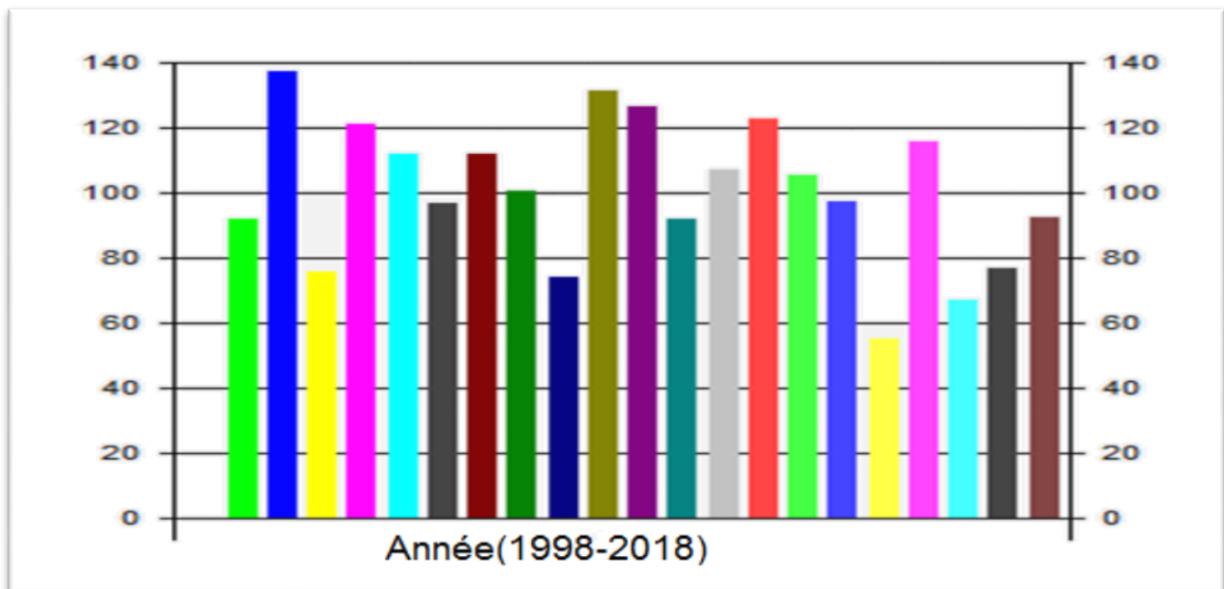
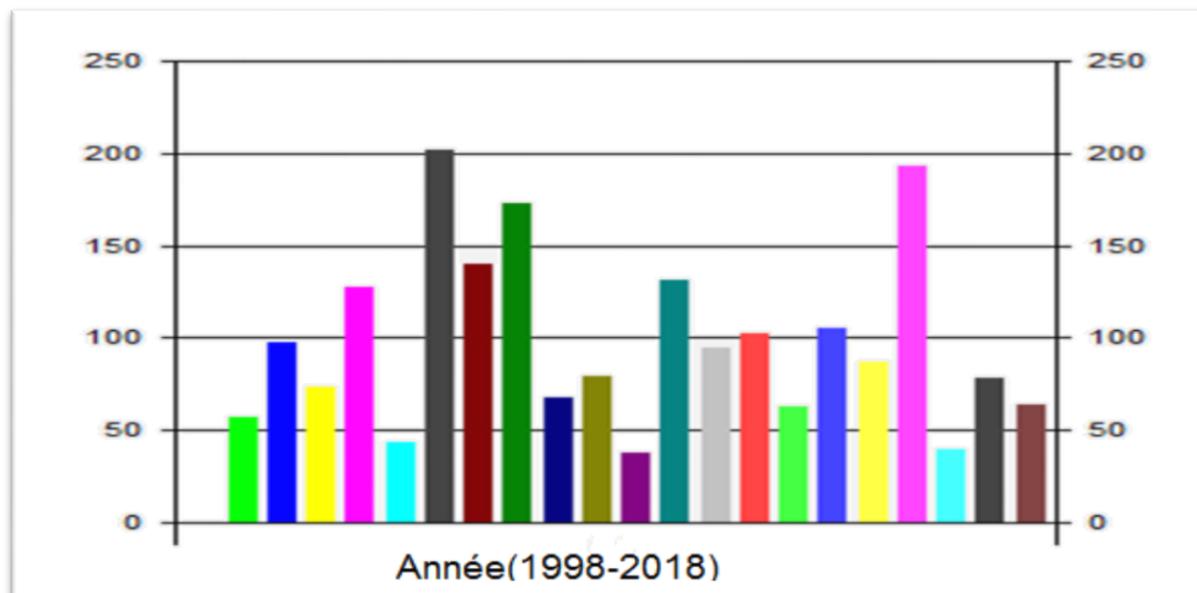


Figure 6 : Évolution de la précipitation de la saison d'automne de la région de BBA (1998-2018).

La figure (6), montre que l'automne le plus humide est celui de l'année 1999 avec un maximum des précipitations égale à 137.50 mm, est celui de l'année 2014 et le plus sec avec une valeur des précipitations estimée à 55.30mm.

### B) Saison d'Hiver (1998-2018)



**Figure 7 :** Évolution de la précipitation de la saison d'hiver de la région de BBA (1998-2018).

D'après la figure (7), nous constatons que l'hiver de l'année 2003 est le plus humide avec une valeur maximale des précipitations de 202.4 mm, et celui de l'année 2008 est le plus sec avec une valeur de 37.5 mm.

C) Saison du Printemps (1998-2018)

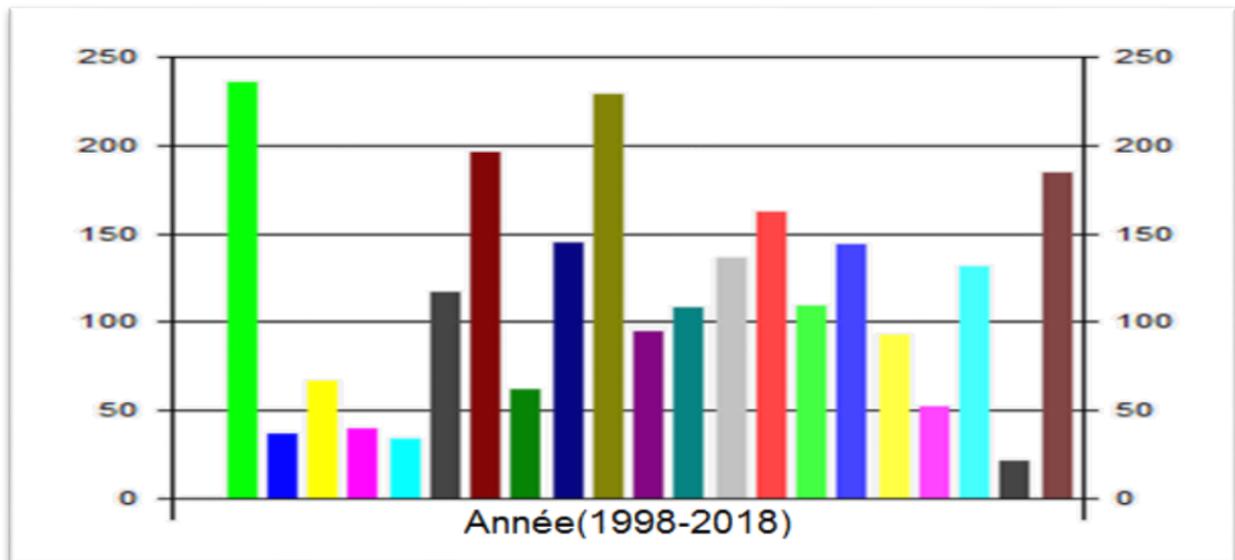


Figure 8 : Évolution de la précipitation de la saison du printemps de la région de BBA (1998-2018).

La valeur des précipitations du printemps 1998 est la plus élevée (236 mm) donc c'est le plus humide par rapport aux printemps des autres années, par contre le printemps plus sec est celui de l'année 2017 avec une valeur minimale des précipitations estimée par 20.5mm (Figure 8).

D) Saison d'Été (1998-2018)

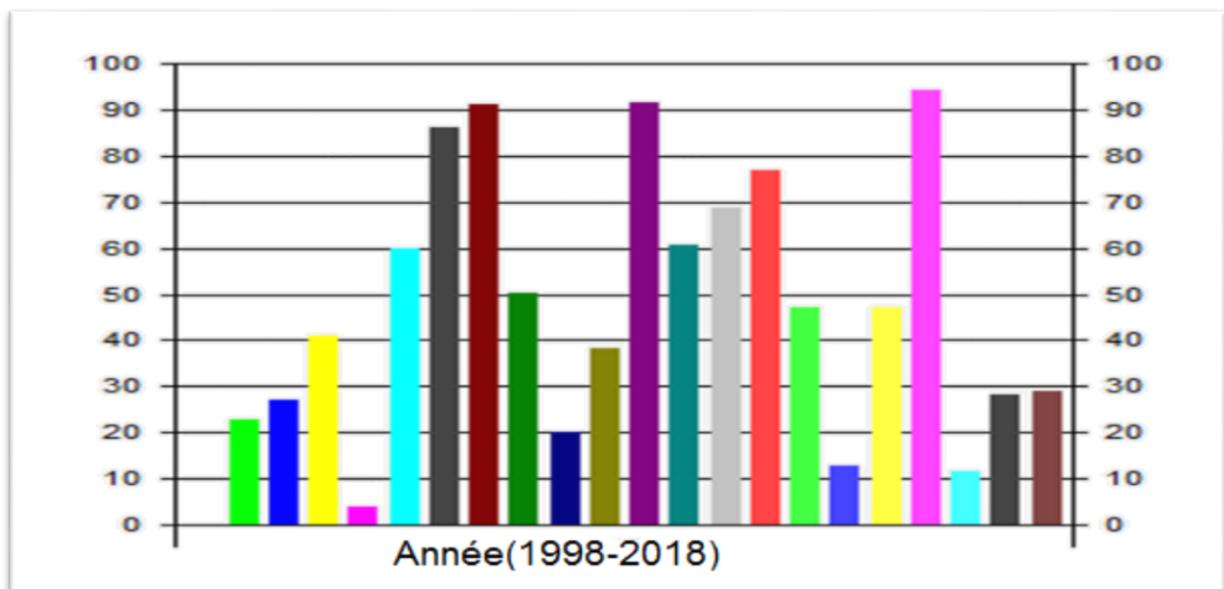


Figure 9 : Évolution de la précipitation de la saison d'été de la région de BBA (1998-2018).

D'après la figure (9) qui nous montre que l'année 2015 contient l'été le plus humide avec une valeur maximale de 116.10mm, et l'été de l'année 2001 est le plus sec avec une valeur minimale de 3.60mm.

### 1.2.3. Indice standard des précipitations (SPI)

#### 1.2.3.1. Echelle annuelle

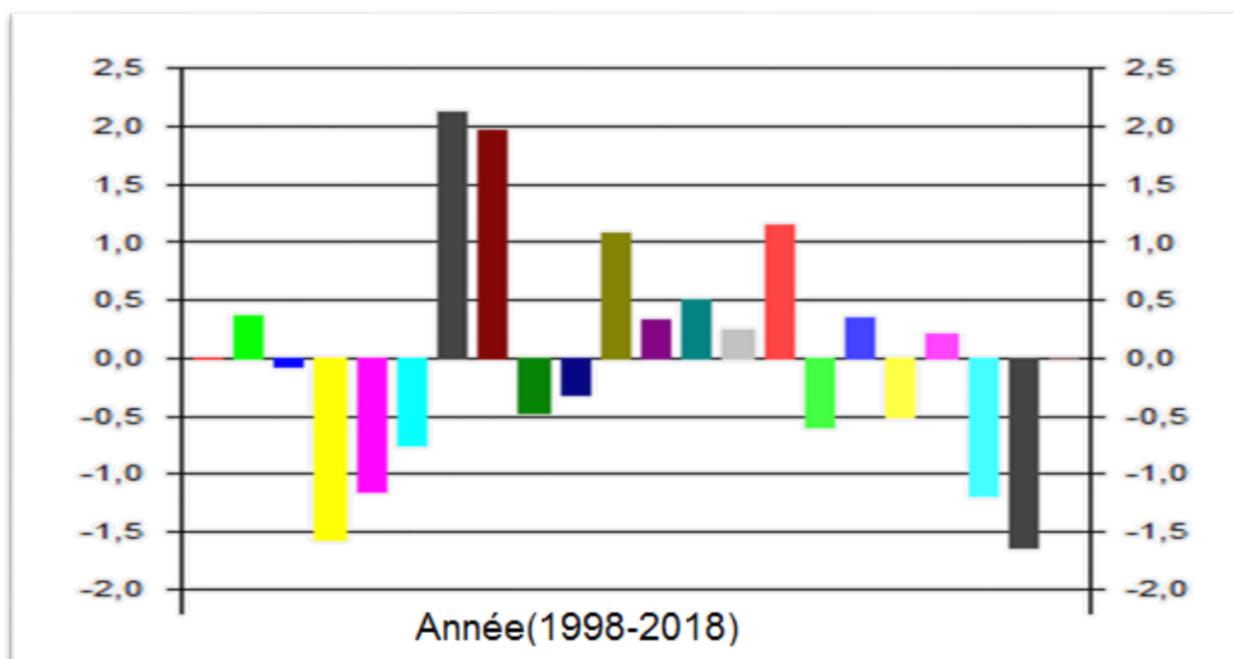
Le tableau 7, représente les valeurs de l'indice SPI annuel avec leurs interprétations selon les normes de McKee *et al.*, (1993) de de la région de BBA dans la période de 1998 à 2018.

**Tableau 7** : Présentation des valeurs annuelles de l'indice SPI.

| <b>Année</b> | <b>SPI</b> | <b>Interprétation</b> |
|--------------|------------|-----------------------|
| <b>1998</b>  | 0.37       | Pas de sécheresse     |
| <b>1999</b>  | -0.08      | Légère sécheresse     |
| <b>2000</b>  | -1.57      | Grande sécheresse     |
| <b>2001</b>  | -1.16      | Sécheresse modérée    |
| <b>2002</b>  | -0.76      | Légère sécheresse     |
| <b>2003</b>  | 2.12       | Pas de sécheresse     |
| <b>2004</b>  | 1.97       | Pas de sécheresse     |
| <b>2005</b>  | -0.48      | Légère sécheresse     |
| <b>2006</b>  | -0.31      | Légère sécheresse     |
| <b>2007</b>  | 1.07       | Pas de sécheresse     |
| <b>2008</b>  | 0.33       | Pas de sécheresse     |
| <b>2009</b>  | 0.50       | Pas de sécheresse     |
| <b>2010</b>  | 0.24       | Pas de sécheresse     |
| <b>2011</b>  | 1.14       | Pas de sécheresse     |
| <b>2012</b>  | -0.59      | Légère sécheresse     |
| <b>2013</b>  | 0.34       | Pas de sécheresse     |
| <b>2014</b>  | -0.50      | Légère sécheresse     |
| <b>2015</b>  | 0.20       | Pas de sécheresse     |
| <b>2016</b>  | -1.19      | Sécheresse modérée    |
| <b>2017</b>  | -1.65      | Grande sécheresse     |
| <b>2018</b>  | 0.00       | Légère sécheresse     |

Le tableau 7, ci-dessus nous a permis d'observer des périodes à savoir :

- une période extrêmement humide en 2003 d'un SPI égale à 2.12.
- une année très humide 2004 (SPI égale à 1.97).
- seulement deux années humides en 2007 et 2011, SPI égale successivement à 1.07 et 1.14.
- 12 ans normales avec un SPI varient entre 0.76 et 0.37.
- une occurrence d'année modérément sèche pendant 2 ans (2001 et 2016) avec un SPI successivement égale à -1.16 et -1.19.
- deux périodes secs en 2000 et 2017 avec un SPI successivement égale à -1.57 et -1.65.



**Figure 10** : Evolution de l'intensité annuelle de la sécheresse (SPI) durant la période (1998-2018).

On remarque que la région est passée par les périodes suivants (Figure 10) :

- pendant 7 ans l'SPI vari entre (0.00 et -0.76), la région subit une légère sécheresse, avec une répétition de 7 fois sur 21 ans.
- dans les années 2001 et 2016 l'SPI vari de -1.16 jusqu'à -1.19, la sécheresse va être modérée, répétée 2 fois durant 21 ans.

- durant les années 2000 et 2017 on observe une grande sécheresse ou l'SPI atteint une valeur de -1.57, alors la région subit 2 périodes de sécheresse sur 21 ans.
- pendant la période étudiée (1998-2018), la valeur de l'SPI n'atteint jamais une valeur de -2 (ou moins) donc la région ne subit aucune sécheresse extrême.

### 1.2.3.2. Caractérisation annuelle de la sécheresse :

La distribution proportionnelle des valeurs calculées des SPI annuels est présentée dans le tableau 8, ce dernier montre que :

- Le pourcentage d'occurrence d'une période normale (pas de sécheresse) est très fort égale à 48%.
- Le pourcentage d'occurrence d'une période légèrement sèche est fort égale à 33%.
- Le pourcentage d'occurrence d'une période à grande sécheresse est faible égale à 10%.
- Le pourcentage d'occurrence d'une période modérément sèche est faible égale à 9%.
- Le pourcentage d'occurrence d'une période extrêmement sèche est nul durant toute la période étudiée (1998-2018).

**Tableau 8 :** Pourcentage des fréquences de l'indice SPI annuel dans la région d'étude (1998-2018).

| Type de sécheresse | Pourcentage |
|--------------------|-------------|
| Pas de sécheresse  | 48%         |
| Légère sécheresse  | 33%         |
| Sécheresse modérée | 9%          |
| Grande sécheresse  | 10%         |
| Sécheresse extrême | 0%          |

### 1.2.3.3. Echelle saisonnière :

#### A) Automne :

Nous avons enregistré durant la saison d'automne cinq périodes (tableau 9) :

- Une prédominance d'automne normale (pas de sécheresse), 11 automnes normaux sur 20.

- Une période caractérisée par une légère sécheresse durant les années suivantes (1998, 2003, 2009, 2013, 2018), avec un SPI entre (0 et -0.99), alors on peut dire que la région peut être exposée à une légère sécheresse d'une fréquence d'une fois tous les 3 ans.
- Pour les trois années 2000, 2006 et 2017, les résultats montrent une sécheresse modérée caractérisée par un SPI vari entre -1 et -1.49 donc elle peut être répétée une fois par 10 ans.
- Une seule année (2016) caractérisée par une grande sécheresse, SPI égale à -1.59 avec une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 20 ans.
- Durant les 20 ans étudiées seulement en 2014 que la région de BBA a été exposée à une sécheresse extrême ou l'SPI est estimé par -2.10, donc la fréquence d'occurrence est une fois tous les 50 ans.

**Tableau 9 :** Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison d'Automne).

| Année | SPI   | Interprétation     |
|-------|-------|--------------------|
| 1998  | -0.41 | Légère sécheresse  |
| 1999  | 1.71  | Pas de sécheresse  |
| 2000  | -1.15 | Sécheresse modérée |
| 2001  | 0.95  | Pas de sécheresse  |
| 2002  | 0.54  | Pas de sécheresse  |
| 2003  | -0.16 | Légère sécheresse  |
| 2004  | 0.53  | Pas de sécheresse  |
| 2005  | 0.01  | Pas de sécheresse  |
| 2006  | -1.24 | Sécheresse modérée |
| 2007  | 1.42  | Pas de sécheresse  |
| 2008  | 1.22  | Pas de sécheresse  |
| 2009  | -0.39 | Légère sécheresse  |
| 2010  | 0.30  | Pas de sécheresse  |
| 2011  | 1.02  | Pas de sécheresse  |
| 2012  | 0.23  | Pas de sécheresse  |
| 2013  | -0.16 | Légère sécheresse  |
| 2014  | -2.10 | Sécheresse extrême |
| 2015  | 0.72  | Pas de sécheresse  |
| 2016  | -1.56 | Grande sécheresse  |
| 2017  | -1.11 | Sécheresse modérée |
| 2018  | -0.38 | Légère sécheresse  |

### B) Hiver :

Nous avons remarqué deux phases (tableau 10) :

- 10 années sont caractérisées par une période légèrement sèche plus remarquable, par un intervalle d'SPI de 0 à -0.99, avec une probabilité d'occurrence d'une seule fois tous les 3 ans.
- Sauf trois années (2002, 2008 et 2016) qui sont caractérisées par une sécheresse modérée avec un SPI entre -1 et -1.49, cette catégorie de sécheresse à une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 10 ans.

- Pendant tous les hivers de 20 ans la région ne subit aucune période d'une grande sécheresse ou extrêmement sèche.

**Tableau 10** : Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison d'Hiver).

| Année | SPI   | Interprétation     |
|-------|-------|--------------------|
| 1998  | -0.89 | Légère sécheresse  |
| 1999  | 0.00  | Légère sécheresse  |
| 2000  | -0.52 | Légère sécheresse  |
| 2001  | 0.62  | Pas de sécheresse  |
| 2002  | -1.16 | Sécheresse modérée |
| 2003  | 2.23  | Pas de sécheresse  |
| 2004  | 0.90  | Pas de sécheresse  |
| 2005  | 1.60  | Pas de sécheresse  |
| 2006  | -0.66 | Légère sécheresse  |
| 2007  | -0.40 | Légère sécheresse  |
| 2008  | -1.29 | Sécheresse modérée |
| 2009  | 0.72  | Pas de sécheresse  |
| 2010  | -0.06 | Légère sécheresse  |
| 2011  | 0.08  | Pas de sécheresse  |
| 2012  | -0.76 | Légère sécheresse  |
| 2013  | 0.16  | Pas de sécheresse  |
| 2014  | -0.24 | Légère sécheresse  |
| 2015  | 2.04  | Pas de sécheresse  |
| 2016  | -1.24 | Sécheresse modérée |
| 2017  | -0.42 | Légère sécheresse  |
| 2018  | -0.73 | Légère sécheresse  |

### C) Printemps :

Nous avons enregistré durant la saison du printemps trois périodes (tableau 11) :

- Une première période caractérisée par une légère sécheresse pendant 6 ans. La probabilité d'occurrence de cette catégorie de sécheresse est 33 fois sur 100 ans avec une fréquence d'une seule fois tous les 3 ans.

- La deuxième période caractérisée par une sécheresse modérée durant 4 ans (1999, 2001, 2002, 2015) avec un SPI entre -1.30 et -1.00. La probabilité d'occurrence sur 100 ans est 10 fois, avec une fréquence d'une seule fois tous les 3 ans.
- Une seule année (2017) caractérisée par une grande sécheresse, SPI égale à -1.50 avec une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 20 ans.
- On remarque l'absence des périodes extrêmement sèche.

**Tableau 11** : Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison du Printemps).

| Année | SPI   | Interprétation     |
|-------|-------|--------------------|
| 1998  | 1.96  | Pas de sécheresse  |
| 1999  | -1.25 | Sécheresse modérée |
| 2000  | -0.76 | Légère sécheresse  |
| 2001  | -1.20 | Sécheresse modérée |
| 2002  | -1.30 | Sécheresse modérée |
| 2003  | 0.05  | Pas de sécheresse  |
| 2004  | 1.32  | Pas de sécheresse  |
| 2005  | -0.85 | Légère sécheresse  |
| 2006  | 0.50  | Pas de sécheresse  |
| 2007  | 1.84  | Pas de sécheresse  |
| 2008  | -0.32 | Légère sécheresse  |
| 2009  | -0.09 | Légère sécheresse  |
| 2010  | 0.36  | Pas de sécheresse  |
| 2011  | 0.77  | Pas de sécheresse  |
| 2012  | -0.07 | Légère sécheresse  |
| 2013  | 0.48  | Pas de sécheresse  |
| 2014  | -0.34 | Légère sécheresse  |
| 2015  | -1.00 | Sécheresse modérée |
| 2016  | 0.27  | Pas de sécheresse  |
| 2017  | -1.50 | Grande sécheresse  |
| 2018  | 1.13  | Pas de sécheresse  |

### D) Été :

Nous remarquons durant la saison d'été deux périodes (tableau 12) :

- 8 ans avec une légère sécheresse (SPI entre -0.90 et -0.03), avec une fréquence une fois tous les 3 ans.
- 3 années seulement d'une sécheresse modérée (SPI entre -1.32 et -1.00), ou la probabilité d'occurrence est de 10 sur 100 ans, avec une fréquence une fois par 10 ans.
- Une seule année (2001) caractérisée par une grande sécheresse, SPI égal à -1.59 avec une probabilité d'occurrence d'une fois tous les 20 ans.

**Tableau 12 :** Présentation des valeurs saisonnières de l'indice SPI (saison d'Été).

| Année | SPI   | Interprétation     |
|-------|-------|--------------------|
| 1998  | -0.90 | Légère sécheresse  |
| 1999  | -0.75 | Légère sécheresse  |
| 2000  | -0.26 | Légère sécheresse  |
| 2001  | -1.59 | Grande sécheresse  |
| 2002  | 0.43  | Pas de sécheresse  |
| 2003  | 1.37  | Pas de sécheresse  |
| 2004  | 1.55  | Pas de sécheresse  |
| 2005  | 0.08  | Pas de sécheresse  |
| 2006  | -1.00 | Sécheresse modérée |
| 2007  | -1.36 | Légère sécheresse  |
| 2008  | 1.57  | Pas de sécheresse  |
| 2009  | 0.46  | Pas de sécheresse  |
| 2010  | 0.75  | Pas de sécheresse  |
| 2011  | 1.04  | Pas de sécheresse  |
| 2012  | -0.04 | Légère sécheresse  |
| 2013  | -1.27 | Sécheresse modérée |
| 2014  | -0.03 | Légère sécheresse  |
| 2015  | 1.66  | Pas de sécheresse  |
| 2016  | -1.32 | Sécheresse modérée |
| 2017  | -0.72 | Légère sécheresse  |
| 2018  | -0.68 | Légère sécheresse  |

### 1.2.3.4. Caractérisation saisonnière de la sécheresse :

La distribution proportionnelle des valeurs calculées des SPI saisonnière est classée dans le tableau 13.

- Le pourcentage d'occurrence d'une période normale (pas de sécheresse) le plus élevé est celui de l'automne égal à 52%, alors que le plus bas est celui de l'hiver (38%).
- Le pourcentage d'occurrence d'une période légèrement sèche le plus élevé est celui de l'hiver égal à 48% et le plus bas égal à 24% en automne.

- Le pourcentage d'occurrence d'une période modérément sèche le plus élevé est celui de printemps égal à 19% et 14% dans le reste des saisons.
- Le pourcentage d'occurrence d'une période à grande sécheresse est 0% en printemps et 5% dans le reste des saisons.
- Le pourcentage d'occurrence d'une période extrêmement sèche est nul durant le printemps, l'hiver et l'été, et 5% en automne.

**Tableau 13 :** Pourcentage des fréquences de l'indice SPI saisonnière dans la région d'étude (1998-2018).

| Type de sécheresse        | Pourcentage |       |           |     |
|---------------------------|-------------|-------|-----------|-----|
|                           | Automne     | Hiver | Printemps | Été |
| <b>Pas de sécheresse</b>  | 52%         | 38%   | 48%       | 43% |
| <b>Légère sécheresse</b>  | 24%         | 48%   | 28%       | 38% |
| <b>Sécheresse modérée</b> | 14%         | 14%   | 19%       | 14% |
| <b>Grande sécheresse</b>  | 5%          | 0%    | 5%        | 5%  |
| <b>Sécheresse extrême</b> | 5%          | 0%    | 0%        | 0%  |

### 2. Synthèse et discussion :

La première application créée par (Semaoune et Ziadi, 2019) est conçue pour faire seulement des calculs des valeurs de l'indice SPI, alors que la nouvelle application que nous avons créé permet de : faire une statistique descriptive d'une série de données, réaliser des histogrammes, calculer les valeurs d'SPI et interpréter ces valeurs.

Cette application, elle nous a permet de faire la caractérisation de l'état de la sécheresse dans la région de Bordj Bou Arreridj aussi rapidement et facilement sans l'utilisation d'autres applications tel que l'Excel.

L'exploitation des données des précipitations annuelles dans la région de Bordj Bou Arreridj durant la période de 1998 à 2018 affirme que l'année 2003 est l'année la plus pluvieuse avec une valeur des précipitations 551.4mm, et l'année 2017 la plus sèche avec une valeur de précipitation 214.2mm. .Nous remarquons une occurrence des périodes supérieures à la

moyenne et inférieures à cette dernière, ainsi une dispersion des données de précipitations annuelles remarquable par la grande valeur de la variance et l'écartype.

Les précipitations saisonnières les plus importantes sont celles du printemps suivi par l'automne puis l'hiver, et la saison la plus sèche c'est l'été. Nous constatons que l'automne le plus humide est celui de l'année 1999 avec un maximum des précipitations égale à 137.50 mm, est celui de l'année 2014 et le plus sec avec une valeur des précipitations estimée à 55.30mm. L'hiver de l'année 2003 est le plus humide avec une valeur maximale des précipitations de 202.4 mm, et celui de l'année 2008 est le plus sec avec une valeur de 37.5 mm. La valeur des précipitations du printemps 1998 est la plus élevée (236 mm) donc c'est le plus humide par rapport aux printemps des autres années, par contre le printemps plus sec est celui de l'année 2017 avec une valeur minimale des précipitations estimée par 20.5mm. L'année 2015 contient l'été le plus humide avec une valeur maximale de 116 .10mm, et l'été de l'année 2001 est le plus sec avec une valeur minimale de 3.60mm.

D'après (Benbadji et Bouazza, 2000) le climat méditerranéen est un climat de transition entre la zone tempérée et la zone tropicale. Il se distingue essentiellement par des étés chauds et secs et une forte irrégularité des pluies. Une pluviométrie annuelle, comprise entre 600mm et 1000mm pour les pays du Nord et proche de 400mm pour certains pays du Sud (Benyettou et Bouklikha, 2017).

(Ghennai, 2012) affirme que l'Algérie est caractérisée par l'existence de cinq étages bioclimatiques sur lesquels l'influence méditerranéenne s'atténue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la mer. C'est-à-dire de Nord vers le Sud (humide, sub-humide, semi-aride, aride et saharien).

D'après (Bouragba, 2015) La région de Bordj Bou Arreridj se caractérise par un étage bioclimatique semi-aride. Où les précipitations sont irrégulières, de 200 à 400mm par an (Azizou et Madani, 2015). les données des précipitations annuelles de cette région sur une période qui s'étale de 1998 à 2018 montrent que les années 2003 et 2004 sont les années les plus pluvieuses avec une valeur des précipitations d'environ 600mm, et les 18 ans qui restent sont intégrés dans les normes de l'étage bioclimatique semi-aride, ce qui confirme que notre région est située dans ce dernier.

L'étude des probabilités de sécheresse à Bordj Bou Arreridj se basant sur les résultats de SPI-12 pour l'échelle annuelle et SPI-3 pour l'échelle saisonnière. L'application de l'indice SPI à

l'échelle de 12 mois durant la période 1998 à 2018 a permis de détecter plusieurs séquences de sécheresse qui ont touché la région.

Les plus sèches sont celles enregistrées aux années 2000 et 2017. L'année 2000 a été passée par une période de sécheresse (grande sécheresse), on remarque aussi une période modérément sèche en 2001 et 2016 et une autre sévèrement sèche durant l'année 2017.

Les résultats issus de la comparaison des calculs de l'indice SPI sur deux échelles différentes du temps (SPI sur 3 mois et SPI sur 12 mois) indiquent que plus le degré de sévérité de sécheresse augmente plus la fréquence d'occurrence diminue. À titre d'exemple l'automne de l'année 2014 caractérisé par une extrême sécheresse, sa fréquence d'occurrence une fois tous les 50 ans seulement avec une valeur de l'SPI estimé par -2.10, par contre l'automne de l'année 2003 caractérisé par une légère sécheresse avec une fréquence d'occurrence d'une fois tous les 3 ans par un SPI de -0.16.

Selon (Merabti, 2018), l'application de l'indice SPI à l'échelle de 12 mois durant la période 1979 à 2013 a permis de détecter plusieurs séquences de sécheresse qui ont touché la région. Les plus sévères sont celles enregistrées aux années 1979, 1993, 1996 est la plus récente en 2001. La comparaison de nos résultats avec celle de (Merabti, 2018), confirme que l'année 2001 a été passée par une période de sécheresse (modérément sèche), nous remarquons aussi une période modérément sèche en 2016 et une autre sévèrement sèche durant l'année 2017.

D'après (Chourghal *et al.*, 2018) Les résultats de l'analyse du climat passé (1980-2009), indiquent la présence d'un changement climatique particulièrement concernant la précipitation et la température. La température a augmenté dans la région de Bordj Bou Arreridj durant le climat passé (1980-2009) étudié. La précipitation a diminué aussi mais de façon non significative. C'est le cas de ce présent travail qui confirme les résultats précédents, moins de la moitié de la série est caractérisée par une période proche à la normale (48%), ce qui reste des années (52%) sont divisées également entre période modérément sèche et à grande sécheresse.

Les impacts de la sécheresse sont nombreux et peuvent touchés plusieurs secteurs importants : économiques, sociaux et environnementaux. Parfois, les conséquences et les coûts sont difficiles à estimer en raison de sa présence régionale étendue affectant de nombreux secteurs différents, qui ne peuvent pas tous être considérés en termes économiques (Markandya *et al.*, 2009). Les sécheresses sont également un risque régulier ou les impacts sur l'agriculture peuvent être catastrophiques (Peake *et al.*, 1979; Chapman *et al.*, 1993).

En région méditerranéenne, les périodes déficitaires en précipitation ont des conséquences sévères sur les ressources en eau (Margat et vallée, 1999). La situation est encore plus critique lorsque ce déficit a lieu en hiver, période de recharge de la réserve hydrique (RH) dans les nappes phréatiques. Celui-ci aggrave la sécheresse estivale habituelle et peut entraîner une sécheresse précoce en printemps, période de la saison agricole.

# Conclusion

### **Conclusion :**

Ce mémoire a pour objectif d'améliorer l'application de calcul SPI. Ainsi la détermination de l'évolution temporelle des précipitations et caractériser la sécheresse dans la région de Bordj Bou Arreridj par le calcul de l'indice standardisé des précipitations durant une période de 21 ans (1998-2018).

Grâce à cette application que nous avons créée, il est possible de calculer l'SPI aussi facilement et rapidement et avoir des interprétations sur les valeurs d'SPI calculés, aussi il est possible de faire des histogrammes d'SPI et des précipitations.

Sur le plan climatique, la région d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen, avec un étage bioclimatique semi-aride marqué par un été chaud sec et un hiver plus ou moins rigoureux, avec une valeur maximale des précipitations de 551.4mm et une valeur minimale égale à 214.2mm durant la période étudiée.

Les résultats obtenus après le calcul de l'indice SPI sur une période de 21 ans (1998-2020), ont permis de détecter les périodes sèche et humide dans la région de Bordj Bou Arreridj. Cette région est une région semi-aride qui a subi un changement climatique au cours des 21 dernières années. Selon l'indice SPI la saison sèche sur l'années 2000 et 2001, aussi en 2016 et 2017, dont la série est caractérisée par 48% une période normale (pas de sécheresse), ce qui reste de la période (52%) sont divisées également entre période légèrement sèche, modérément sèche et a grande sécheresse.

Les indices SPI saisonnières montrent les alternances annuelles visualisées par les précipitations. L'intensité des épisodes de sécheresse est concentrée aux niveaux des étés suivis par les hivers et enfin les automnes et les printemps.

La caractérisation de la sécheresse est essentielle pour les opérations de gestion de la sécheresse. L'utilisation d'indices de sécheresse est un moyen pragmatique d'assimiler de grandes quantités de données en informations quantitatives pouvant être utilisée dans des applications telles que la prévision de la sécheresse et la déclaration des niveaux de sécheresse.

# Références bibliographiques

### **Les références bibliographiques :**

- **Agoum A. IISD., 2003.** Vulnérabilité des pays du Maghreb face aux changements climatiques Besoin réel et urgent d'une stratégie d'adaptation et de moyens pour sa mise en œuvre International. Institute for Sustainable Development, 11p.
- **Azizou A. et Madani H., 2015.** Contribution à l'étude climatique et bioclimatique du barrage Ghrib dans la wilaya d'Ain defla, Mémoire de Master, Université de Djillali Bounaama Khemis Miliana, 42p.
- **Baldy Ch., 1974.** Etude fréquentielle du climat, son influence sur la production des principales zones céréalières d'Algérie, Doc CCCE, Paris, 152p.
- **Baldy Ch., 1992.** Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés méditerranés occidentaux In Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne, Ed INRA, Paris, 397p.
- **Benbadji N. et Bouazza M., 2000.** Quelques modifications climatiques intervenues dans le sud-ouest de l'Oranie (Algérie occidentale), Rev. Énerg. Ren, 3, pp.117-125.
- **Benyettou M. et Bouklikha A., 2017.** Variation et tendances des températures et des précipitations journalières en Algérie, Projet de fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de Master, Université Abou Bekr Belkaid, 68p.
- **Bouragba N., 2015.** Contribution à l'étude des minéralisations de la chaîne des Azerou (chaîne des Bibans, Bordj Bou Arreridj). Université Ferhat Abbas-setif, diplôme de magister, 79p.
- **Chapman S. Ludlow M. Blamey F. Fischer K., 1993.** Effect of drought during early reproductive development on growth of cultivars of groundnut (*Arachis hypogaea* L), Utilization of radiation and water during drought, *Field crops research* 32, pp.193-210.
- **Chapron J., 2010.** Le changement climatique une synthèse des interventions et discussions prononcées lors du débat sur le climat le 20 septembre 2010 à l'Académie des sciences, Jean-Loup PUGET René BLANCHET Jean SALENÇON Alain CARPENTIER, pp.19-1.
- **Chourghal N. Frederic H. Boukhalfa H. Belhamra M., 2018.** Le climat récent observé et les changements climatiques futurs dans la région de Bordj Bou Arreridj, pp.585-592.
- **CPR Informatique., 2002.** Ecole nationale des sciences géographiques, Mai 2002, pp.3159-3164.
- **Djouane S. Haggui A., 2015.** Etude de la sécheresse climatique dans les hauts plateaux de l'Algérie, par deux approches : Analyse statistique et images satellitaires, Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master (LMD) en Hydraulique, El oued, pp.18-2.

- **Edwards, D., 1997.** Characteristics of 20 th century drought in the United States at multiple time scales. Climatology Report 97-2, Departement of Atomospheric Science, Colorado state University, Fort Collins, Colorado.
- **Ghennai N., 2012.** Etude des rapports et des corrélations entre le régime bioclimatique et les incendies de forêts (cas de l'Est-Algérien), Mémoire fin d'étude de Magister, 91p.
- **Greg P., 2009.** Microsoft Visual Basic 6. Paris, ed. Pearson, 820p.
- **Hamlaoui L. Mesbah M. Souag-Gamane D. Medjerab A., 2013.** Detecting hydro-climatic change using spatiotemporal analysis of rainfalltime series in Western Algeria. Nat Hazards 65, pp.1293-1311.
- **Jacques L., 1885.** L'homme et le climat, science, 7p.
- **Khalidi A., 2005.** Impact de la sécheresse sur le régime des écoulements souterrains dans les massifs calcaires de l'Ouest Algérien "Monts de Tlemcen-Saida" .Thèse de doctorat, Université D'ORAN ,230P.
- **L'hote Y., 1993.** Mesure et étude des précipitations en hydrologie. Université de Montpellier fi USTL, deust-genie hydro sanitaire et aquacole, 14p.
- **Makandya A. Mysiak J. Palatnik R. Breil M. Balzarolo P. Martin-Ortega J., 2009.** Economic and Social Impact of Droughts and Demand Side Options – State of the Art Review, Background Document Xerochore.
- **Marget J. et Vallée D., 1999.** Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement, MEDTAC/ Plan bleu.
- **McKee et Doesken N. et Kleist J., 1993.** The relationship of frought frequency and duration to time scale. In : *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, du 17 au 22 janvier 1993. Boston, American Meteorological Societ, pp.179-184.
- **Meddi M. Assani A. Meddi H., 2010.** Temporal variability of annual rainfall in the Macta and Tafna catchments, northwestern Algeria, Water Resour, Manage, 24, pp.3817-3833.
- **Merabti A., 2018.** Caractérisation, variabilité et prévision de la sécheresse dans le Nord-est Algérien, Ecole nationale supérieure d'hydraulique Abdellah Arbaoui, thèse de doctorat, 11p.
- **Observation du Sahara et du Sahel (OSS), 2013.** Vers un système d'Alerte précoce à la sécheresse au Maghreb, collection synthèse \_OSS : Tunis, 2008, 84p.
- **OMM., 2006.** Organisation Météorologique Mondiale, suivi de la sécheresse et alerte précoce : principes, progrès et enjeux futurs, N° 1006, 28p.

- **OMM., 2012.** Organisation météorologique mondiale, Guide D'utilisation de l'indice de précipitations normalisé, 1090, 25p.
- **Peake D. Henzell E. Stirk G., 1979.** Similation of changes in herbage biomass and drought response of a buffel grasse (*Cenchrus ciliaris* cv. Bioloela) in Southern Queensland. *Agro-Ecosystems* 5, pp.23-40.
- **Semaoune S. Ziadi A., 2019.** caractérisation de la sécheresse climatique de la région de Bordj Bou Arreridj et développement d'une application de calcul SPI sous l'environnement Visual Basic. Présenté en vue de l'obtention du diplôme Master (LMD) en Biodiversité et environnement, sous la direction de M<sup>r</sup>. Ait Mechedal M, Université de BBA, 55p
- **Taibi S. Meddi M. Mahé G. Assani A., 2017.** Relationships between atmospheric circulation indices and rainfall in Northern Algeria and comparison of observed and RCM-generated rainfall, *Theor Appl Climatol* 127, pp.241-257.
- **Wilhite D. et Glantz M., 1985.** Understanding the drought phenomenon : The role of definitions. *Water International*, pp.11-120.
- **Xingjun H. Shenglian G. Lihua X. Zhangjun L., 2014.** Spatial and temporal analysis of drought using entropy-based standardized precipitation index : a case study in Poyang Lake basin, China. Xingjun Hong & Shenglian Guo & Lihua Xiong & Zhangjun Liu. 4 november 2014, *Theor Appl Climatol* DOI 10.1007/s00704-014-1312-y, pp.543-556.
- **Zeroual A. Assani A. Meddi M., 2017.** Combined analysis of temperature and rainfall variability as the relate to climate indices in Northern Algeria over the 1972-2013 period. *Hydrol Res* 48, pp.584-595.
- **Zeroual A. Meddi M. Bensaad S., 2013.** The impact of climate change on river flow in arid and semi-arid rivers in Algeria. In : *Climate and Land-surface Changes in Hydrology*, Proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly,

## Résumé:

Ce travail porte sur deux volets, le premier est de développer une application portant sur l'Indice Standardisé des précipitations (SPI) et le deuxième une étude de l'SPI sur deux échelles : SPI-12 pour l'échelle annuelle et SPI-3 pour l'échelle saisonnière durant une période de temps s'étale de 1998 à 2018 au niveau de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les résultats obtenus indiquent un changement climatique défavorable, ce changement est exprimé par la diminution des précipitations annuelles. De plus cette évolution est accompagnée par des périodes de temps sèches. Ses effets indirects dans le temps peuvent avoir des impacts économiques, agricoles, hydrologiques ou sociaux.

**Mot clés:** Sécheresse, Précipitation, Indice Standardisé des Précipitation (SPI), Programmation, Bordj Bou Arreridj.

## Abstract:

This work relates to two aspect, the first is concerning the development of an application about the Standardized Precipitation Index (SPI), the second is the study of SPI on two scales : SPI-12 for the annual scale and SPI-3 for the seasonal scale during a period of time spread out from 1998 to 2018 at the level of the wilaya of Bordj Bou Arreridj. The results obtained indicate an unfavorable climate change, and this change is reflected in the annual fall in precipitation. Moreover, this development is accompanied by dry periods of time, and its indirect effects over time can have economic, agricultural, hydrological or social issues.

**Key words:** Drought, precipitation, Standardized Precipitation Index (SPI), programming, Bordj Bou Arreridj.

## ملخص:

يتعلق هذا العمل بدراسة تطبيقية حول المؤشر المعياري للهطول (SPI) على مقياسين SPI-12 للمقياس السنوي و SPI-3 للمقياس الموسمي خلال فترة زمنية منتشرة من عام 1998 إلى 2018 على مستوى ولاية برج بوعريريج. تشير النتائج المتحصل عليها إلى تغيير مناخي غير موات، ويعبر هذا التغيير بإنخفاض التساقط السنوي علاوة على ذلك، يصاحب هذا التطور فترات جافة من الزمن، ويمكن أن يكون لآثاره غير المباشرة بمرور الوقت تأثيرات إقتصادية أو زراعية أو هيدرولوجية أو إجتماعية.

## الكلمات المفتاحية:

الجفاف، هطول الأمطار، مؤشر الهطول القياسي SPI، البرمجة، برج بوعريريج.