



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 زيان عاشور-الجلفة
Université Ziane Achour – Djelfa
كلية علوم الطبيعة والحياة
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie



Département des Sciences Agronomiques et Vétérinaires

Mémoire de fin d'étude

En Vue De l'obtention Du Diplôme De Master en sciences Agronomiques
Spécialité : Eaux et environnement

Thème

**Evaluation de la sécheresse et Essai de régionalisation
des paramètres climatiques dans la région des hauts
plateaux Algériens**

Présenté par : BENGUESMIA Djamel

Les membres du jury:

M. AZOUZI Blal..... Pr Président
M. BOUZNAD Imad-Eddine MCB Promoteur
M. SEHL Boudjema MCB Examineur
M .HAIED Nadjib.....MCA Examineur

Année Universitaire 2018/2019

Résumé

Notre zone d'étude dénommée Hauts Plateaux, couvre une surface de plus de 261.267km² et regroupe les sous bassin versant situés entre les deux altitudes 1200 m. ce travail vise à évaluer la sécheresse et de faire une régionalisation des paramètres climatiques dans la région des hauts plateaux Algériens, par l'utilisation des méthodes statistique de géostatistique, afin de déterminer les zones les plus vulnérables au phénomène de sécheresse. La région d'étude est soumise à une variation de climat semi aride à sub-humide, caractérisé par des précipitations moyennes relativement faibles de 401.46 mm, ce climat est marqué par une évapotranspiration moyenne de 857.02 mm. On constate d'après les cartes obtenus par la régionalisation de l'indice RDI que l'année la plus humide est celle du 1996-1997 et l'année la plus sèche est de 2000-2001, la carte de sécheresse de l'année 2014-2015 fait ressortir une tendance de sécheresse selon une orientation Sud-Ouest et Nord-Est, avec des valeurs proche de la normale.

Mots Clés : sécheresse, régionalisation, géostatistique, RDI.

ملخص

تغطي منطقة دراستنا التي تسمى الهضاب العليا ، مساحة تزيد على 267،261 كيلومتر مربع ، وتشمل مستجمعات المياه الفرعية الواقعة بين الإرتفاعات 1200 متر. يهدف هذا العمل إلى تقييم الجفاف وإضفاء الطابع الإقليمي على المعاملات المناخية في منطقة المرتفعات الجزائرية ، من خلال استخدام الأساليب الإحصائية للإحصاء الجيولوجي ، لتحديد أكثر المناطق عرضة لظاهرة الجفاف. تخضع منطقة الدراسة لتغير مناخي شبه جاف رطب ، يتميز بمعدل هطول الأمطار المنخفض نسبياً 401.46 ملم ، ويتميز هذا المناخ بمعدل تبخر متوسط يبلغ 857.02 ملم. يمكن أن نلاحظ من الخرائط التي تم الحصول عليها عن طريق إضفاء الطابع الإقليمي على مؤشر RDI أن العام الأكثر رطوبة هو عام 1996-1997 وأحدث سنة هي 2000-2001 ، خريطة تجفيف العام يظهر 2014-2015 اتجاه الجفاف في اتجاه الجنوب الغربي والشمال الشرقي ، مع القيم قريبة من المعدل الطبيعي.

الكلمات المفتاحية للإحصاء الجيولوجي الطابع الإقليمي

Abstract

Our study area called Hauts Plateaux, covers an area of more than 261,267km² and includes the sub-watershed located between the two altitudes 1200 m. this work aims to evaluate the drought and to make a regionalization of climatic parameters in the Algerian highlands region, through the use of statistical methods of geostatistics, to determine the most vulnerable zones to the drought phenomenon. The study area is subject to a semi-arid to sub-humid climate change, characterized by a relatively low average rainfall of 401.46 mm, this climate is marked by an average evapotranspiration of 857.02 mm. It can be seen from the maps obtained by the regionalization of the RDI index that the wettest year is that of 1996-1997 and the driest year is 2000-2001, the map of drying of the year 2014-2015 shows a drought trend in a southwesterly and northeastern direction, with values close to normal.

Keywords: drought, regionalization, geostatistics, RDI.

Remerciements

Au terme de ce travail, nous ne manquons d'adresser mes sincères remerciements à tous ce qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Ma premières reconnaissances sont adressées tout d'abord à mon promoteur, Monsieur BOUZNAD Imad eddine, de part son suivi continu et ces conseils fructueux et judicieux. Il m'a permis d'élaborer cette thèse et qui sans aides, ce travail n'aurait point vu de jour.

Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.

Je remercie affectueusement MR SEHL Boudjema qui a déployé ses efforts, pour me faire profiter de ces vastes connaissances et qui m'a largement aidé au cours de la formation sur la télédétection organisé par le Géo-Club.

Mes remerciements et mes reconnaissances s'adressent aussi à tous les enseignants de la faculté des sciences de la nature et de la vie

Enfin, je tiens à remercier tous mes amis qui m'ont aidés et encouragés pour réaliser ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à ceux qui me

Sont les plus chers au monde:

A mes très chers parents, qui ont su m'élever,

Et m'orienter vers le droit chemin,

C'est également l'exemple des parents généreuses qui ont sacrifiée jour après jour

pour notre bonheur, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde

reconnaissance.

A mon frère Mohamed, qui n'a jamais hésité de me présenter son immense aide

moral.

A mes collègues : Korichi Ayoub, Omrani Ahmed et Hachi Abderahmane

Djamel

Sommaire

Introduction générale.....	01
<i>1^{er} chapitre : Présentation de la zone et caractéristiques naturelles</i>	
I. Présentation des hauts plateaux.....	03
II. Caractéristiques naturels	04
II.1. Relief et morphologie	04
II.2. Contexte géologique.....	05
II.3. Aperçu Hydrogéologique	08
II.4. Hydrologie	10
II.5. Occupation du sol.....	11
II.6. Etude Climatologique	12
II.6.1. Pluviométrie	12
II.6.2. Températures.....	13
II.6.3. Evapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR).....	14
II.6.3.1. Evapotranspiration potentielle (ETP).....	14
II.6.4. Diagramme Ombro-thermique.....	15
II.6.5. Notion du bilan d'eau	17
II.6.5.1. Bilan du Station de Djelfa.....	17
II.6.5.2. Bilan du Station de Namaa.....	18
II.6.5.3. Bilan du Station de Khanchela.....	19
<i>2^{ème} chapitre : Matériels et méthodes</i>	
I. Généralités sur la sécheresse	22
II. Indices et indicateurs de sécheresse	23
II.1. Méthodes de suivi et d'évaluation de la sécheresse	24
II.2. Choix des indicateurs et indices.....	25
II.3. Sources d'information sur les indicateurs et indices.....	26
III. Outils d'aide à la décision.....	27
III.1.1. Les grandes fonctions d'un SIG	28
III.1.2. Coupler un SIG avec un modèle de simulation	28
III.1.2. DrinC (Drought Indices Calculator)	29
III.1.2.1. Calcul des indices de sécheresse.....	29
III.1.2.2. Conception et mise en œuvre de logiciel.....	30
IV. Indices utilisés	32
IV.1. Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI)	33
IV.2. Indice de précipitation normalisé (SPI)	34
V. Méthodes de géostatistiques	35
V.1. Interpolation par krigeage.....	36

VI. Indice d'aridité (IA)	36
3^{ème} chapitre : résultats et discussions	
I. Régionalisation des paramètres climatiques.....	39
I.1. Cartographie des précipitations	39
I.2. Cartographie des températures.....	40
I.3. Cartographie de l'Évapotranspiration potentiel.....	41
I.3. Cartographie de l'indice de l'aridité	42
II. Interprétation des résultats des indices de sécheresse.....	44
II.1. Déciles	44
II.2. Analyse des indices de sécheresse	45
II.2.1. Indices de sécheresse RDI	45
II.2.1.1. Analyse de la sécheresse à l'aide α_{12}	47
II.2.2. Indice de sécheresse SPI.....	49
III. Corrélation entre SPI et RDI	52
IV. Corrélations de RDI avec la précipitation et la température	52
VI. Géostatistique et Cartographie.....	54
VI. 1. Validation de Cross	56
VI.2. La distribution des données	57
IIV. La cartographie des indices de sécheresse	58
Conclusion générale.....	63

Liste des figures

<i>N° de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
Figure n° 01 :	Carte de situation géographique et administrative de la région d'étude.....	03
Figure n° 02 :	Présentation des reliefs de l'Algérie.....	04
Figure n° 03 :	Carte du model numérique du terrain de la zone d'étude.....	05
Figure n° 04 :	Carte géologique de la région d'étude.....	08
Figure n° 05 :	Carte hydrogéologique de la région d'étude.....	09
Figure n° 06 :	Carte de réseau hydrographique de la région d'étude.....	10
Figure n° 07 :	Carte d'occupation du sol de la région d'étude.....	12
Figure n° 08 :	Histogramme de la précipitation moyenne pour chaque station.....	13
Figure n° 09 :	histogramme de la température moyenne pour chaque station.....	14
Figure n° 10 :	histogramme de L'ETP moyenne pour chaque station.....	14
Figure n° 11 :	Diagramme Ombro-thermique des stations des hauts plateaux centre.....	15
Figure n° 12 :	Diagramme Ombro-thermique des stations des hauts plateaux Est.....	16
Figure n° 13 :	Diagramme Ombro-thermique des stations des hauts plateaux Ouest.....	16
Figure n° 14 :	Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la station de Djelfa (1985-2015).....	18
Figure n° 15 :	Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la station de Namaa (1985-2015).....	19
Figure n° 16 :	Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la station de Namaa (1985-2015).....	20
Figure n° 17 :	Définition du SIG (Laboratoire de cartographie appliquée - Élisabeth HABERT – IRD, 2000)....	27
Figure n° 18 :	Les grandes fonctions d'un SIG (<i>François Laurent, 1996</i>).....	28
Figure n° 19 :	L'organigramme du logiciel DrinC.....	31
Figure n° 20 :	structure et fonctionnalité du logiciel DrinC.....	32
Figure n° 21:	Cartes des précipitations moyenne de la période 1985 à2015 et des trois décennies...	40
Figure n° 22 :	Cartes des températures moyenne de la période 1985 à2015 et des trois décennies...	41
Figure n° 23 :	Cartes de l'évapotranspiration moyenne de la période 1985 à2015 et des trois décennies.....	42
Figure n° 24 :	Carte de répartition de l'indice d'aridité	43
Figure n° 25 :	Comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} dans les stations des hauts plateaux Centre.....	48
Figure n° 26 :	Comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} dans les stations des hauts plateaux Est...	48
Figure n° 27 :	Comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} dans les stations des hauts plateaux Ouest	49
Figure n° 28 :	les résultats de SPI pour chaque station.....	50
Figure n° 29 :	les résultats de RDI et SPI dans la série de 30 ans pour chaque station.....	51

Figure n° 30 : Diagramme de dispersion du SPI et du RDI de la station de Djelfa pendant la période (1985-2015).....	52
Figure n° 31 : la corrélation entre RDI et la température.....	53
Figure n° 32 : la corrélation entre RDI et la précipitation.....	53
Figure n° 33 : Rapports géostatistique de l'année (1996-1997 et 2000-2001).....	54
Figure n° 34 : Semivariogramme de l'année 2000-2001.....	55
Figure n° 35 : Semivariogramme de l'année 1997-1996.....	55
Figure n° 36 : la recherche de voisinage pour l'année 2000-2001.....	55
Figure n° 37 : Recherche de voisinage pour l'année 1996-1997.....	56
Figure n° 38 : les résultats de mesure et d'erreur année 2000-2001.....	56
Figure n° 40 : les résultats de mesure et d'erreur année 1996-1997.....	57
Figure n° 41 : Histogramme QQ plot de l'année 1996-1997.....	57
Figure n° 42 : le graphe de QQ normale l'année 1996-1997.....	58
Figure n° 43 : Histogramme QQ plot de l'année 2001-2002.....	58
Figure n° 44 : le graphe de QQ normale l'année 2000-2001.....	58
Figure n° 45 : Cartes de répartition de la sécheresse selon l'indice RDI pour la période de 1985-1998.....	59
Figure n° 46 : Cartes de répartition de la sécheresse selon l'indice RDI pour la période de 2001-2015.....	60
Figure n° 47 : Carte de répartition de la sécheresse de l'année la plus humide selon l'indice RDI...	60
Figure n° 48 : Carte de répartition de la sécheresse de l'année la plus sèche selon l'indice RDI....	61

Liste Des Tableaux

N° de tableau	Titre de tableau	Page
Tableau n° 01 :	Répartition des wilayas des hauts plateaux par zone et superficie	04
Tableau n° 02 :	Caractéristique des stations météorologiques.....	13
Tableau n° 03 :	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Djelfa.....	17
Tableau n° 04 :	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Naama.....	18
Tableau n° 05 :	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Djelfa.....	19
Tableau n° 06 :	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de toutes les stations d'étude.....	20
Tableau n° 07 :	classes et description de Déciles.....	32
Tableau n° 08 :	Classification de la sécheresse selon l'indice SPI et RDIST.....	35
Tableau n° 09 :	Classification de l'indice d'aridité AI.....	37
Tableau n° 10 :	Résultats de la classification de L'indice d'aridité.....	43
Tableau n° 11 :	les nombres de répétition pour chaque classe.....	44
Tableau n° 12 :	les nombres répéter pour chaque classe de RDI au cours de la série de 30 ans.....	45
Tableau n° 13 :	Nombres répéter pour chaque classe SPI au cours de la série de 30 ans.....	50
Tableau n° 14 :	Précipitation et la température moyenne des années la plus sèche et humide.....	53

Liste des abréviations

OMM : *Organisation météorologique mondiale*

RDI : *reconnaissance drouaght index*

SPI : *standarde precipiations index*

SIG : *système informations géographique*

NDMC : *National Drought Mitigation Center*

KO: *kreagage ordinaire*

Tp: *tumpérature*

ETPC: *évapotranspération potentiel*

Pr: *précipitation*

RU: *Reserve utile*

ETPR: *évapotrasnpetation reel*

Def : *Déficit*

Exc: *Excedent*

RFU: *réserve facile utilisable*

Introduction générale

La régionalisation des paramètres climatiques est définie comme une méthode tendant à étendre l'information spatialement en vue de l'utiliser en des points où on n'a pas ou peu de données.

En hydrologie, la régionalisation est représentée comme étant le processus de transfert de valeurs des paramètres d'un bassin versant jaugé au bassin versant non jaugé (Chiew et Zhang, 2009). La régionalisation d'un modèle s'entend comme la caractérisation et si possible, l'interprétation de la variabilité spatiale des paramètres de ce modèle en fonction des contextes climatiques, géologiques...

Le changement climatique est maintenant largement reconnu par la communauté scientifique (IPCC, 2013). Sur la Rive Sud du bassin méditerranéen, l'augmentation des températures est conforme à la situation mondiale. La hausse des températures minimales est cependant plus nette dans cette partie de l'Afrique du Nord (Nouaceur et al., 2013 ; Donat et al., 2013).

L'évolution de la pluviométrie mondiale est beaucoup plus contrastée, puisqu'elle est soumise à une forte variabilité spatio-temporelle. Malgré ce constat et compte tenu de l'augmentation des températures, une hausse probable des précipitations est attendue. En effet, l'accélération du cycle hydrologique sous l'effet des fortes températures pourrait entraîner plus de précipitations et d'évaporation (OMM, 2013). Certaines études montrent que ce changement se traduit par une intensification des pluies et une récurrence des événements extrêmes (plus perceptible sur les dernières décennies 1991- 2010) (OMM, 2013) (New et al., 2001 ; Christensen et al., 2007).

Située sur la rive méridionale du bassin méditerranéen, l'Algérie est un vaste territoire de près de 2,5 millions de km² qui s'étend vers le sud jusqu'à la latitude tropicale 18° 57', point le plus méridional. Les trois quarts de l'espace algérien sont soumis aux influences climatiques sahariennes (hyperaride, aride et semi-aride). Les plaines littorales (1.200 km d'est en ouest) sont séparées des hautes plaines et des hauts plateaux de l'intérieur par le grand massif de l'Atlas Tellien et bénéficient ainsi d'un climat plus clément et plus arrosé. À ce gradient nord-sud, la pluviométrie algérienne est soumise aussi à une variabilité « est ouest » (les régions nord-est sont largement plus arrosées que celles situées au nord-ouest de ce pays).

Deux chaînes montagneuses importantes, l'Atlas Tellien au Nord et l'Atlas Saharien au Sud, séparent le pays en trois types de milieux qui se distinguent par leur relief et leur morphologie, donnant lieu à une diversité climatique. On distingue du Nord au Sud le système Tellien, les Hautes Plainnes steppiques et le Sahara.

En allant du Nord de l'Algérie vers le Sud, on traverse différents paysages, en passant des forêts, maquis et matorrals vers les steppes semi arides et arides puis vers les écosystèmes désertiques (Ghania DEROUICHE .2007).

La problématique dans les hauts plateaux Selon les données et connaissances actuelles, l'eau n'est pas en suffisance pour un développement agricole. Il serait donc impératif de préserver l'espace steppique pour la production ovine et d'envisager des modes de lutte contre la désertification, différents de ceux pratiqués

Les changements climatiques provoquent une baisse des réserves en eau du sol à cause de la baisse des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation au niveau du végétal et des sols dus à l'élévation de la température. L'augmentation de la température va réduire la durée du cycle végétal qui peut constituer un facteur défavorable en accentuant le stress hydrique.

Cette étude a pour objectif d'évaluer la sécheresse et de faire une régionalisation des paramètres climatiques dans la région des hauts plateaux Algériens, par l'utilisation des méthodes statistique de géostatistique, afin de déterminer les zones les plus vulnérables au phénomène de sécheresse.

Les différentes étapes et la contribution de chaque chapitre dans ce mémoire de fin d'étude sont articulées de la manière suivante :

- Le premier chapitre a trait aux informations physiques et naturelles de la zone d'étude. Deux sections forment ce chapitre. La première s'intéresse à la situation géographique et administrative de la région d'étude. La deuxième est consacrée aux caractéristiques naturelles qui donnent des informations sur les reliefs, la géologie, l'hydrogéologie, l'hydrologie, l'occupation du sol et enfin les caractéristiques climatiques.
- Dans le deuxième chapitre, nous avons fait un rappel sur les concepts de la sécheresse et les différents indices, ainsi que sur la méthodologie et objectifs de la géostatistique et de la cartographie.
- Le troisième chapitre de ce mémoire présente les principaux résultats, portant sur la cartographie des paramètres climatiques et les résultats des indices de sécheresses et une cartographie spatio-temporelle des indices de sécheresse.

1^{er} CHAPITRE

PRÉSENTATION DE LA ZONE ET CARACTÉRISTIQUES NATURELLES



Introduction

Dans ce chapitre, nous commencerons par le cadre naturel de la zone de hauts plateaux. Ceci amènera à définir l'aire d'étude, la situation géographique, puis nous déterminerons dans un premier temps les données physiques naturelles telles le relief, la géologie, occupation du sol, hydrogéologie, hydrologie. Ensuite nous entamerons les paramètres climatiques (les températures, les précipitations, les vents, l'évapotranspiration etc.), puis par la suite, nous présenterons les bilans hydriques de 3 wilaya représente les zone des hauts plateaux Est(Khanchela), Centre(Djelfa) et Ouest(Namaa).

I. Présentation des hauts plateaux

La zone d'étude dénommée Hauts Plateaux couvre une surface de plus de 261.267km². Elle regroupe 14 wilaya (tableau.1.) d'Ouest en Est:Naama, El Bayadh, Saida, Tissemsilt, Tiaret, Laghouat, Djelfa, MSila, Bordj BouArreridj, Sétif, Oum El Bouaghi, Batna, Khenchela et Tébessa. A cause de la grande extension de la zone d'étude administrativement, on a fait un découpage par rapporte la limite naturel c'est la zone qui se trouve entre l'Atlas saharien et l'Atlas Tallien et qui regroupe les sous bassin versant situés entre les deux altitudes 1200 m. (Figure 1)

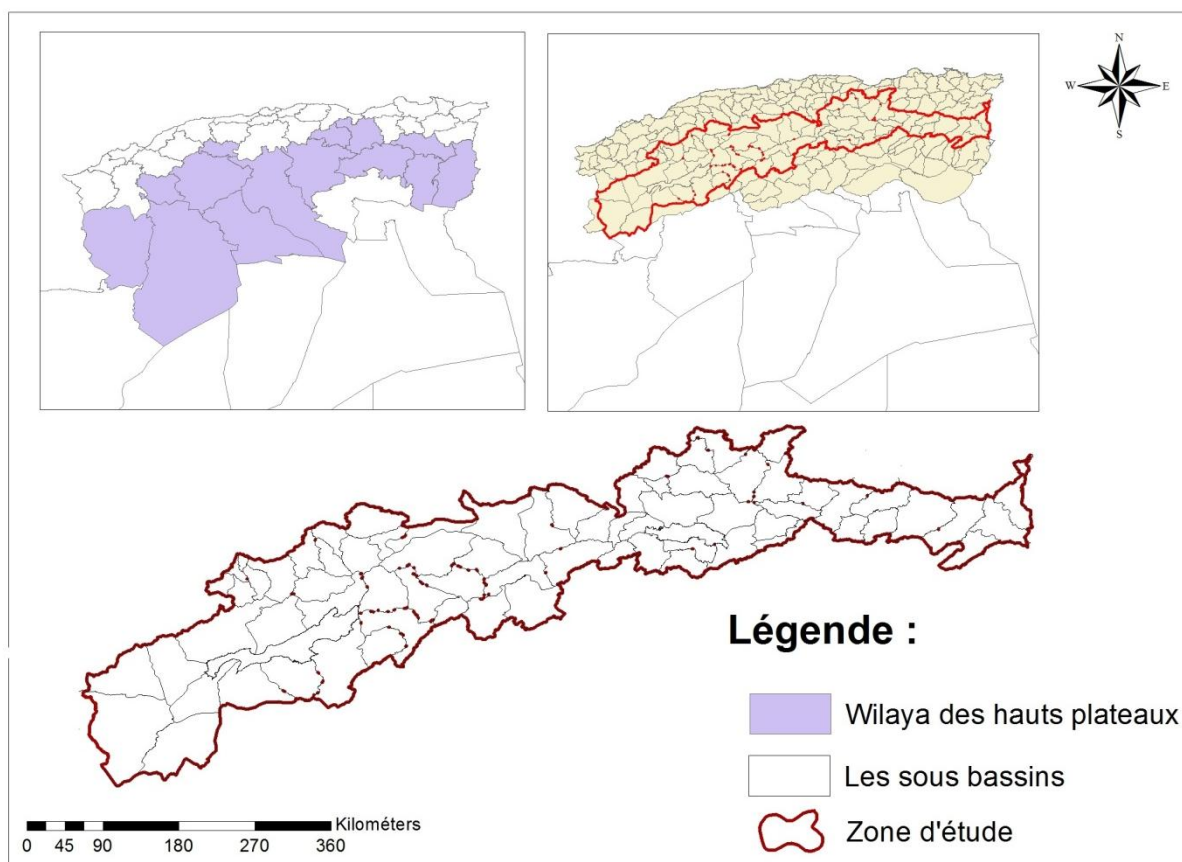


Figure 01 : Carte de situation géographique et administrative de la région d'étude

Tableau1 : Répartition des wilayas des hauts plateaux par zone et superficie

Wilaya	Superficie km ²
Région de l'Ouest	
Saida	6 761
El Bayadh	71 722
Naama	29 785
Tiaret	20 114
Tissemsilt	3 209
Total	131 591
Région du Centre	
Laghouat	27 562
Djelfa	32 362
M'Sila	17 935
Total	77 859
Région de l'Est	
Khenchela	9 572
Oum El Bouaghi	6 258
Batna	12 138
Tebessa	13 261
Bordj Bou Arreridj	3 935
Sétif	6 662
Total	51 826
Grand total	261 276

II. Caractéristiques naturels

II.1. Relief et morphologie

L'espace de programmation territoriale des hauts plateaux appartient à l'ensemble naturel des hautes plaines, dit communément « Hauts Plateaux », qui s'intercale entre la chaîne tellienne accolée au littoral et la chaîne atlasique, qui marque le domaine saharien. Globalement, l'espace de programmation territoriale Hauts Plateaux Centre se distingue sur le plan physique par : Un relief à paysages variés, dont les espaces désertiques (plate-forme saharienne) Le relief est agencé du Nord vers le sud selon les grandes unités géomorphologiques (Figure 02)

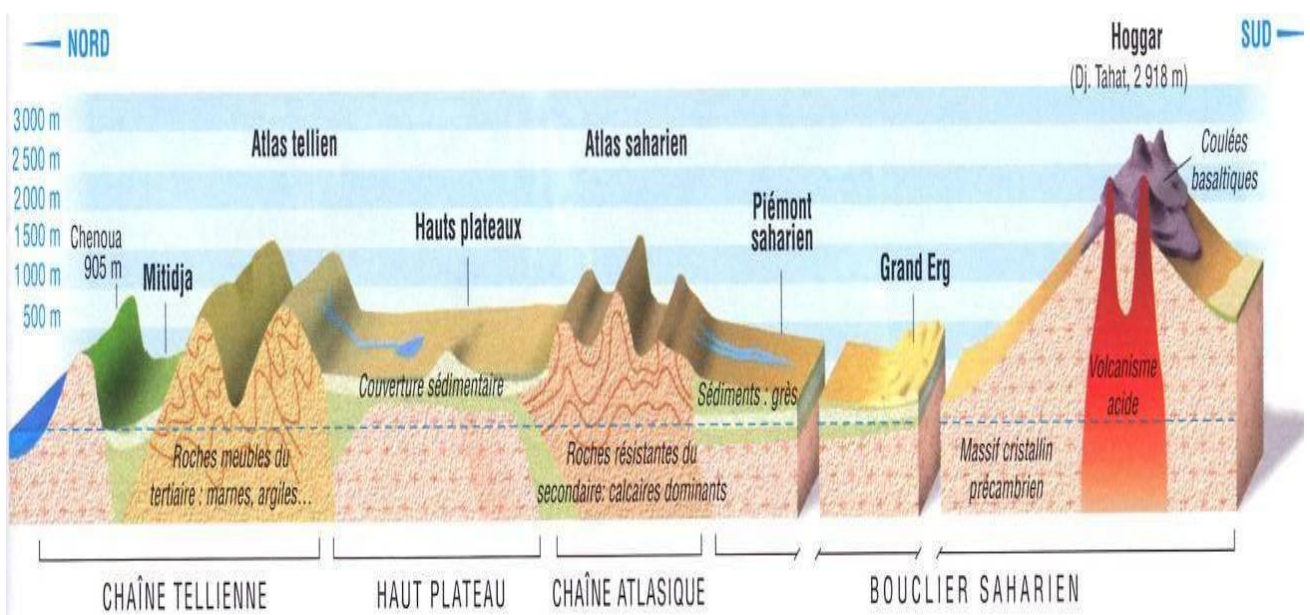


Figure 02 : Présentation des reliefs de l'Algérie

Les reliefs montagneux des versants sud de l'Atlas tellien, représentés par les Monts du Hodna (figure 3). Les Hautes Plaines intérieures « Hauts-Plateaux », situées entre la chaîne tellienne et la chaîne atlasique, représentées par :

- La plaine du Hodna.
- Les hautes plaines steppiques couvrant la partie ouest de la wilaya de M'sila,
- Les hautes plaines steppiques couvrant la partie nord de la wilaya de Djelfa (Ain Oussara, Hassi Bahbah, etc.).

Les dépressions « Chotts » parsemant les Hautes plaines : Chott Hodna, Chott Chergui et chott Gharbi.

Les versants de l'Atlas saharien, représenté par : les Monts des Ouled Nail, Djebel Amour et les Monts du Zab (Djebel Bou Kahil, Djebel Fernane)

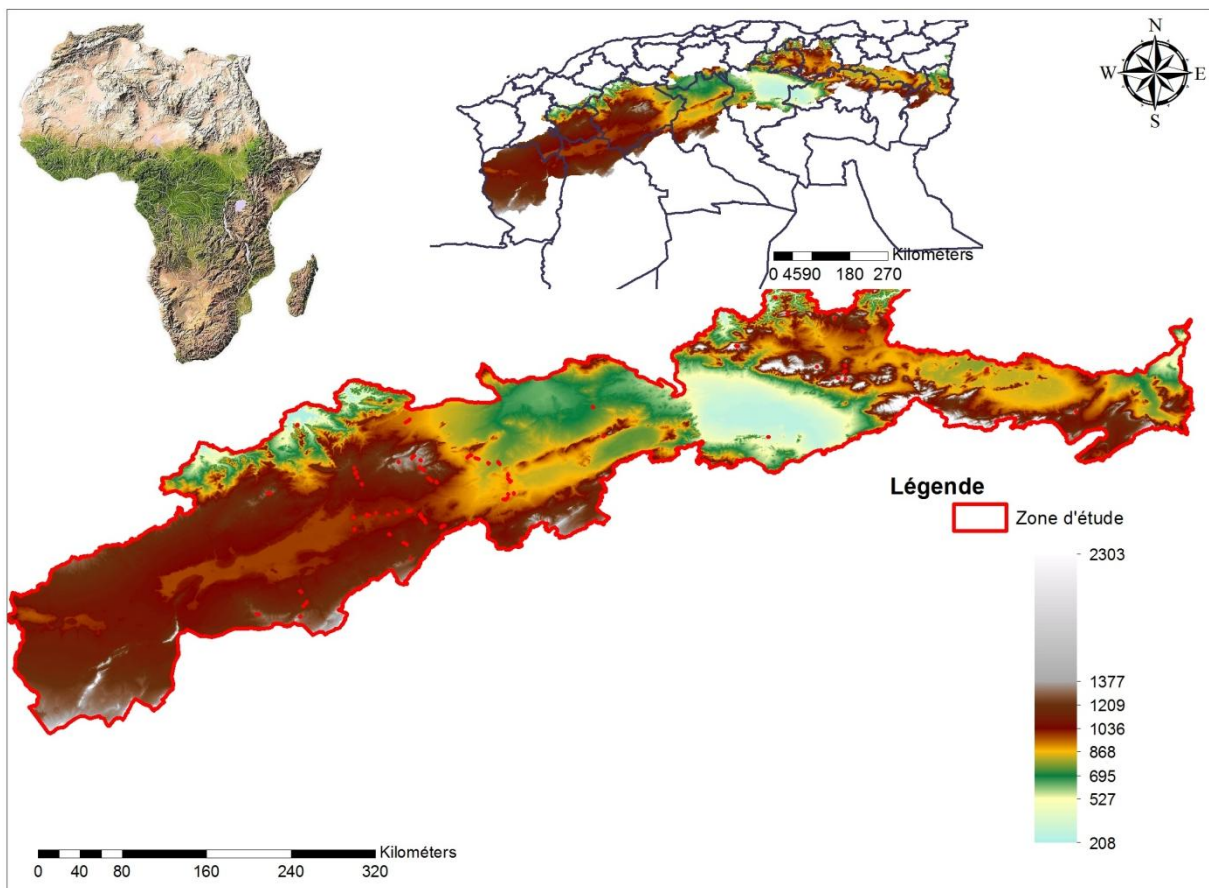


Figure 03. Carte du modèle numérique du terrain de la zone d'étude

II.2. Contexte géologique

Le découpage séquentiel qui est présenté sur les séries sédimentaires s'appuie essentiellement sur les mégaséquences de 6ème et 5ème ordre qui correspondent respectivement aux super cycles et cycles de 2ème ordre selon (Vail et al, 1977). Les Monts des Oulad Nail et la zone préatlasique Les

séries visibles à l'affleurement dans l'Atlas saharien oriental et la zone Préatlasique sont globalement identiques au point de vue des faciès, mais différents Quant aux épaisseurs (Emberger, 1960, Herkat, 1982, 1999). En ce qui concerne le Crétacé supérieur le plus largement représenté, une diminution notable de l'épaisseur de la série s'observe depuis l'Atlas saharien proprement dit vers la zone Préatlasique.

II.2.1. Secondaire

❖ Trias

La succession des dépôts triasiques est très difficile voire impossible à établir car ils sont le plus souvent en position anormale. Les faciès sont variés: gypse, sel, dolomie, cargneules, argiles bariolées et grès rouges.).

❖ Le Jurassique

La série du Jurassique supérieur constitue une mégaséquence de 6ème ordre. Elle se compose de quatre mégaséquences de 5ème ordre. Une coupe continue affleure dans la région d'Aï n Melah (Djebel Tebag).

a –Mégaséquence J I : Elle correspond à la série d'El Bayadh qui est essentiellement détritique à caractère deltaïque. Seule la partie terminale de cette mégaséquence affleure (20 m environ).

b –Mégaséquence J II : Cette Mégaséquence évolue depuis une formation carbonatée récifale vers des calcaires oolitiques puis des alternances marnes / calcaires.

c –Mégaséquence J III : Il s'agit d'une succession essentiellement marneuse à rares passées de bancs calcaires.

d –Mégaséquence J IV : C'est une Mégaséquence de nouveau carbonatée constituée de calcaires lumachelliques puis de calcaires à foraminifères benthiques en alternance avec des marnes

- un Lias basal dolomitique (30 m)

- un Lias inférieur et moyen formé de calcaires massifs, parfois oolithiques, à faunes abondantes de Brachiopodes, Echinodermes etc. Ces formations sont épaisses de 250 à 400 m.

- le Lias supérieur essentiellement marneux est très réduit (10 à 30 m).

- le Dogger, développé sur 100 m environ, est facilement reconnaissable à ses faciès calcaires à filaments, *Cancellophycus* et silex.

- Le Malm, épais de 100 à 180 m également, se présente sous un faciès ammoniticorosso marneux (dans l'Oxfordien notamment). Le Tithonique (50 m) est marno-calcaire à Ammonites, *Aptychus* et Calpionelles. Il est constitué par les mêmes unités que celles qui ont décrites plus à l'Ouest, dans la région de Saïda. La série du Jurassique supérieur est visible à l'affleurement dans le Djebel Azreg Après un intervalle essentiellement marneux à l'Oxfordien et au Kimméridgien, vient un ensemble carbonaté au Portlandien.

❖ Crétacé

Le Crétacé supérieur est reconnu par sondages sous le bassin du Hodna (sondage D 2). Les faciès du Crétacé sont essentiellement marno-calcaires, intermédiaires entre ceux de l'Atlas saharien (dépôts de plate-forme au Cénomaniens et Turonien inférieur) et ceux des Monts du Hodna (à tendance pélagique). La géophysique permet de montrer que le Maastrichtien est discordant sur les termes du Crétacé inférieur sous la plaine de Msila (Guiraud, 1970). Crétacé supérieur, la mer progresse d'Est en Ouest dès le début du Cénomaniens; le Cénomaniens inférieur et moyen est riche en quartz à l'Ouest et en est dépourvu à l'Est, ce qui indique la présence de terres émergées à l'Ouest, qui seront immergées au Cénomaniens supérieur; cette situation persiste jusqu'au Sénonien. La série du Crétacé du sondage SNJ débute par l'Albo-Aptien qui est représenté par des marnes et calcaires. Le Crétacé supérieur est constitué par les mégaséquences I à IV qui montrent essentiellement des calcaires et marno-calcaires.

II.2.2. Tertiaire

La phase orogénique qui a entraîné la surrection de la chaîne atlasique des Monts des Oulad Naïl a entraîné un retrait définitif de la mer dans cette région au début du Tertiaire. Il s'ensuit que les faciès marins du Paléogène et du Néogène sont inconnus. Cependant au Miocène inférieur quelques avancées marines s'effectuent au front nord de la chaîne amenant le dépôt de sédiments néritiques. Les formations qui se déposent sur l'ensemble de la chaîne en voie d'érosion sont englobées sous le terme de Tertiaire continental. Le Tertiaire continental, toujours discordant sur les formations précédentes, est constitué par des alternances irrégulières de conglomérats, et d'argiles sableuses rouges. Au centre de la chaîne l'épaisseur du Tertiaire est de 50 mètres. Au nord de la chaîne, en bordure du Chott El Hodna, cette épaisseur peut atteindre 250 mètres. Le Tertiaire est relativement développé dans le sondage de Sidi Nadji.

II.2.3. Le Quaternaire

Les alluvionnements récents sont des limons de couleur ocre sableux, rarement à intercalations de niveaux grossiers à galets et graviers. Dans les dépressions leur épaisseur atteint plusieurs dizaines de mètres. Des cônes de déjections se rencontrent sur les flancs des anticlinaux

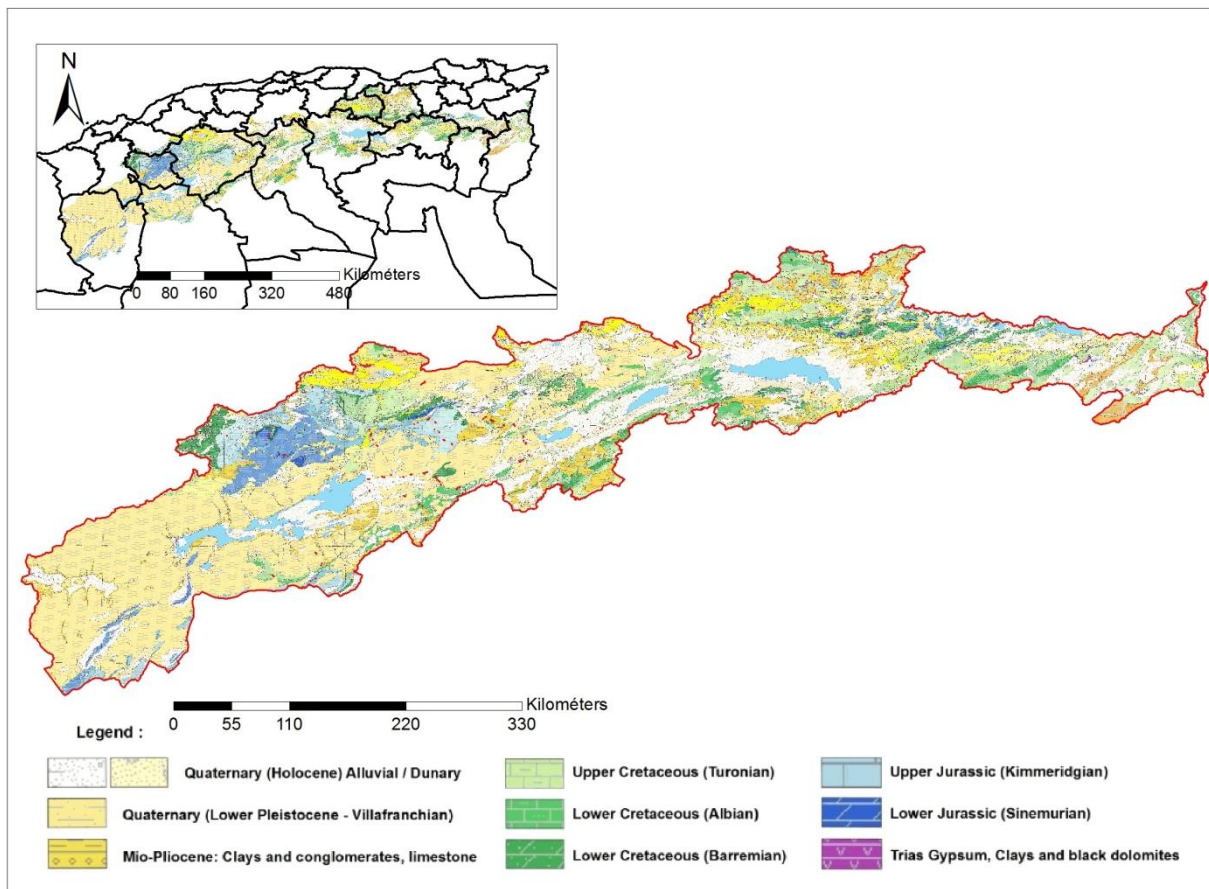


Figure.04: Carte géologique de la région d'étude

II.3. Aperçu Hydrogéologique

L'étude géologique est fondamentale, Pour la détermination des caractéristiques hydrogéologiques des aquifères, elle peut nous fournir des informations utiles sur l'aquifère telles que sa lithologie, sa structure, son épaisseur et sa localisation. Un réservoir est identifié par la présence de formations poreuses et fissurées qui sont des ensembles géologiques susceptibles d'emmagasiner de l'eau, dans notre secteur d'étude les épaisseurs des différents ensembles réservoirs ont été déterminées par l'étude géophysique.

- les hauts plateaux Ouest : Les niveaux aquifères raisonnablement exploitables sont les formations superficielles ou récentes du Néogène-Quaternaire, d'une part, et les grès du Crétacé inférieur d'autre part (Barrémien et Albien). Les autres formations sont certes des réservoirs potentiels ; mais leur exploration et leur exploitation sont difficiles. Les autres formations sont certes des réservoirs potentiels ; mais leur exploration et leur exploitation sont difficiles.
- les hauts plateaux Centre: Les niveaux aquifères raisonnablement exploitables sont les formations superficielles ou récentes du Néogène-Quaternaire, d'une part, et les grès du

Crétacé inférieur d'autre part (Barrémien et Albien). Les autres formations sont certes des réservoirs potentiels ; mais leur exploration et leur exploitation sont difficiles. Le domaine des Hauts Plateaux est un pays calcaire très fracturé; l'étude détaillée de ce vaste aquifère fissuré.

- les hauts plateaux Est : montrent des zones dont les ressources aquifères sont très différentes. La situation géographique de ces zones constitue le facteur essentiel qui favorise ou limite la possibilité de l'existence de ressources hydrauliques plus ou moins abondantes. Du fait de la répartition climatique, les zones semi-arides sont situées schématiquement au sud du parallèle 35° dans la région Est alors qu'elles apparaissent beaucoup plus au nord, à hauteur du parallèle 36° dans la région Centre. Cette différence est due à la physiographie de ces régions qui est très contrastée du fait du développement d'ensembles montagneux plus importants et plus élevés dans la région Est (Djebels Azreg, Chélia etc.). L'alimentation en eau des principales agglomérations situées sur la marge sud des bassins néogènes (Batna, Khenchela, Tebessa) ne devrait pas poser pas de problème majeur puisque ces bassins constituent les aires les plus favorables du point de vue hydrogéologique. L'alimentation en eau potable des agglomérations éloignées des bassins néogènes est, par contre, beaucoup plus difficile. Ces agglomérations situées dans les parties internes de la chaîne atlasique, pourraient être alimentées par des sondages profonds ayant pour objectif le Crétacé inférieur.

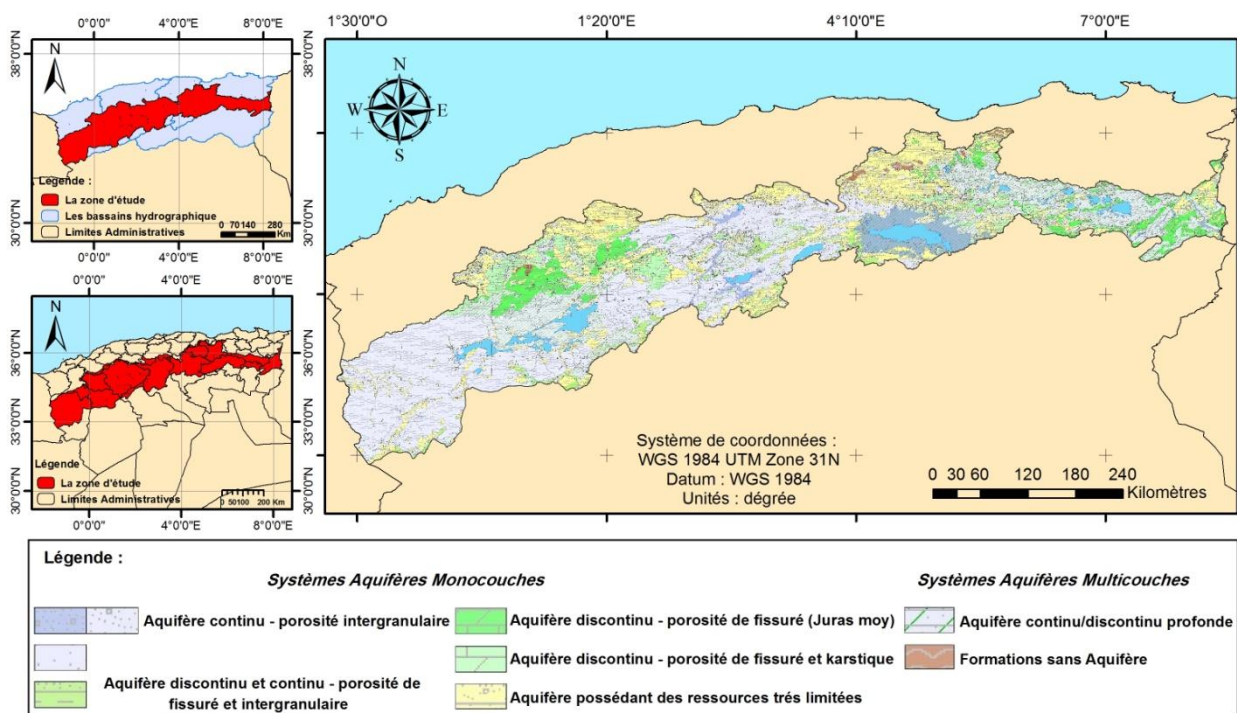


Figure.05 : Carte hydrogéologique de la région d'étude

II.4. Hydrologie

Le rôle social et économique des facteurs climatologiques est primordial en Algérie, pays soumis aux influences tour à tour de la Méditerranée et du Sahara. Les hauteurs des précipitations moyennes varient rapidement d'un point à l'autre; les hauteurs annuelles en une station donnée et leur répartition dans les douze mois de l'année subissent des fluctuations considérables; les chutes de pluies torrentielles alternent avec de longues périodes de sécheresse. Les réseaux hydrographiques sont conditionnés par les caractéristiques des terrains géologiques traversés par les différents oueds. La lithologie des formations intervient sur le degré et la forme des ramifications des oueds. La tectonique et le relief, par contre ont pour rôle d'influer sur les tracés. Dans les zones à forte transmissivité: cas des plaines alluviales, les régions calcaires, le réseau est généralement peu développé en raison du fort taux d'infiltration. A l'exception de quelques affluents, l'ensemble des oueds est temporaire. Le fait marquant des Hauts Plateaux est l'existence de grandes zones endoréiques qui s'étendent d'Est en Ouest au Sud de la zone d'étude. Cet ensemble de dépressions occupées par les Chotts, Sebkhass et Daiias forme un alignement en chapelet ou l'ensemble des oueds converge. La densité de drainage de ces régions est très faible. Ces bassins endoréiques constituent des secteurs inondables.

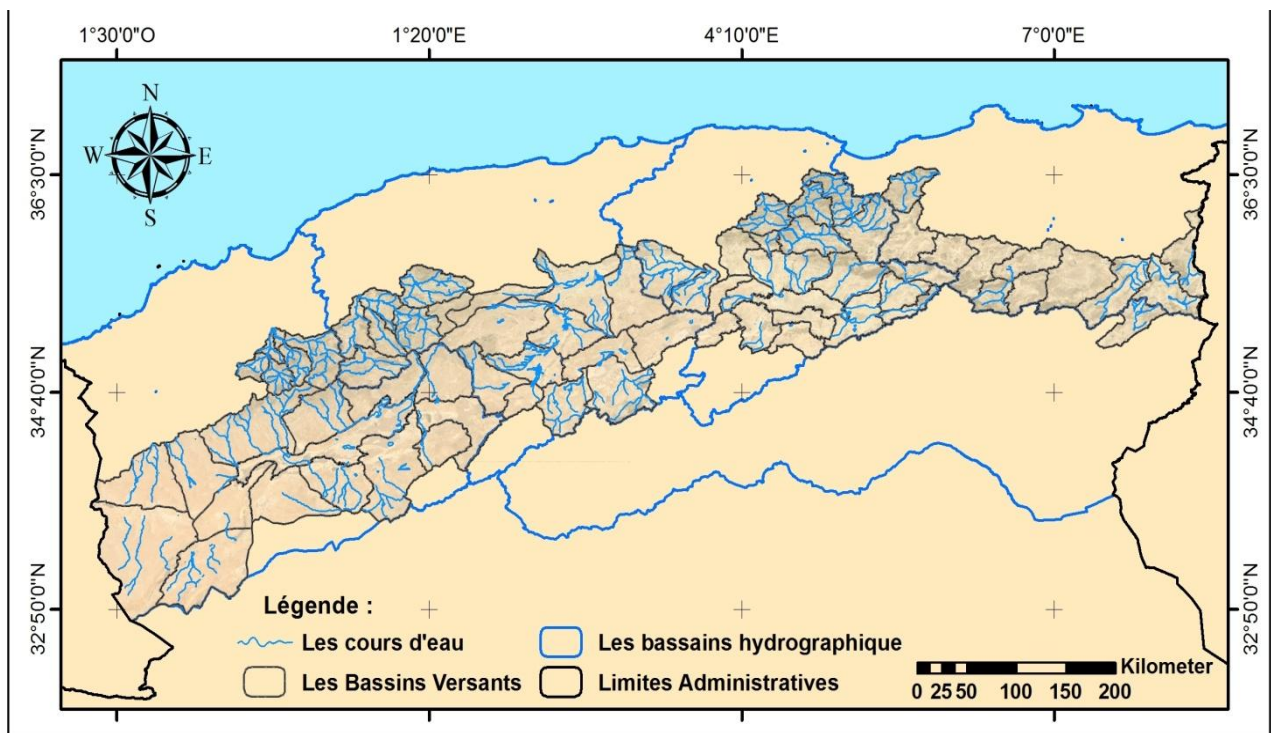


Figure.06 : Carte de réseau hydrographique de la région d'étude

II.5. Occupation du sol

Les investigations pédologiques sont orientées vers des régions agricoles où le souci de rentabilité est sous tendu par la connaissance du sol garant de la productivité et de la rentabilité des investissements. La wilaya de M'Sila est la plus étudiée avec 11 études ; celle de Naâma est la moins étudiée avec une seule étude compte tenu de l'activité principale qui s'y pratique, le pastoralisme. Certaines wilaya sont assez bien connues : Djelfa et Tiaret avec respectivement 8 et 7 travaux et Batna avec 7 travaux. A l'opposé, d'autres wilaya n'ont fait l'objet que de quelques études, souvent des notes techniques : Tissemsilt, El Bayadh, Tébessa et Khenchela. Les travaux les plus complets sont ceux de [J.H Durand\(1954\)](#) Les différentes études détaillées par wilaya montrent que :

- les sols les plus rencontrés sont les sols calcimagnésiques et les sols peu évolués
- les principales contraintes sont rencontrées au niveau de la profondeur qui peut être limitée par la présence de croûtes ou d'encroûtements calcaires ou parfois gypsifères.
- Les sols sont aptes aux cultures céréalières, maraîchères, fourragères et arboricoles si la profondeur n'est pas un facteur limitant. Pour le réseau hydrologique Est, ce sont les sols calcimagnésiques et peu évolués qui prédominent. Les contraintes de mise en valeur sont représentées par la profondeur et les sols sont aptes à toutes les cultures. Dans la région centre, les sols les plus rencontrés sont surtout les sols peu évolués et les sols salins. Les contraintes de mise en valeur rencontrées ont trait à la profondeur compte tenu de la présence de niveaux durs, qui gênent la circulation des racines et de l'eau. Les sols sont aptes à toutes les cultures. En ce qui concerne le réseau hydrologique de Chlef, on rencontre surtout les sols calcimagnésiques et peu évolués et halomorphes. Les limites à la mise en valeur sont imposées par la profondeur pour les sols calcaires, la salure et la pente dans les parties élevées (montagnes) et l'érosion éolienne. Les sols sont aptes aux cultures herbacées et éventuellement à l'arboriculture si la profondeur et les disponibilités hydriques ne sont pas des contraintes. Quant aux sols halomorphes, leurs caractéristiques les destinent au pâturage et aux parcours.

Enfin, s'agissant du réseau hydrologique de l'Oranie , le peu d'informations montre que les sols dominants sont les sols peu évolués et les sols halomorphes où les contraintes de mise en valeur sont représentées par la granulométrie grossière à très grossière, la structure massive et les problèmes de chlorose quand les teneurs en calcaire actif dépassent les 7%.

Dans les plaines l'agriculture est mécanisée avec l'utilisation de techniques modernes et intensification en fonction des disponibilités en eau. Les productions et les rendements sont appréciables pour les cultures fourragères et arboricoles. Pour la région montagneuse, on distingue les bas piémonts où l'agriculture est semi mécanisée avec développement du maraîchage familial et

de l'arboriculture fruitière dont la production est importante pour certaines wilayas. Par contre, pour les hauts piémonts, c'est la céréaliculture en sec qui est dominante avec souvent des techniques culturales érosives, notamment le labour dans le sens de la pente, ce qui favorise les processus de l'érosion.

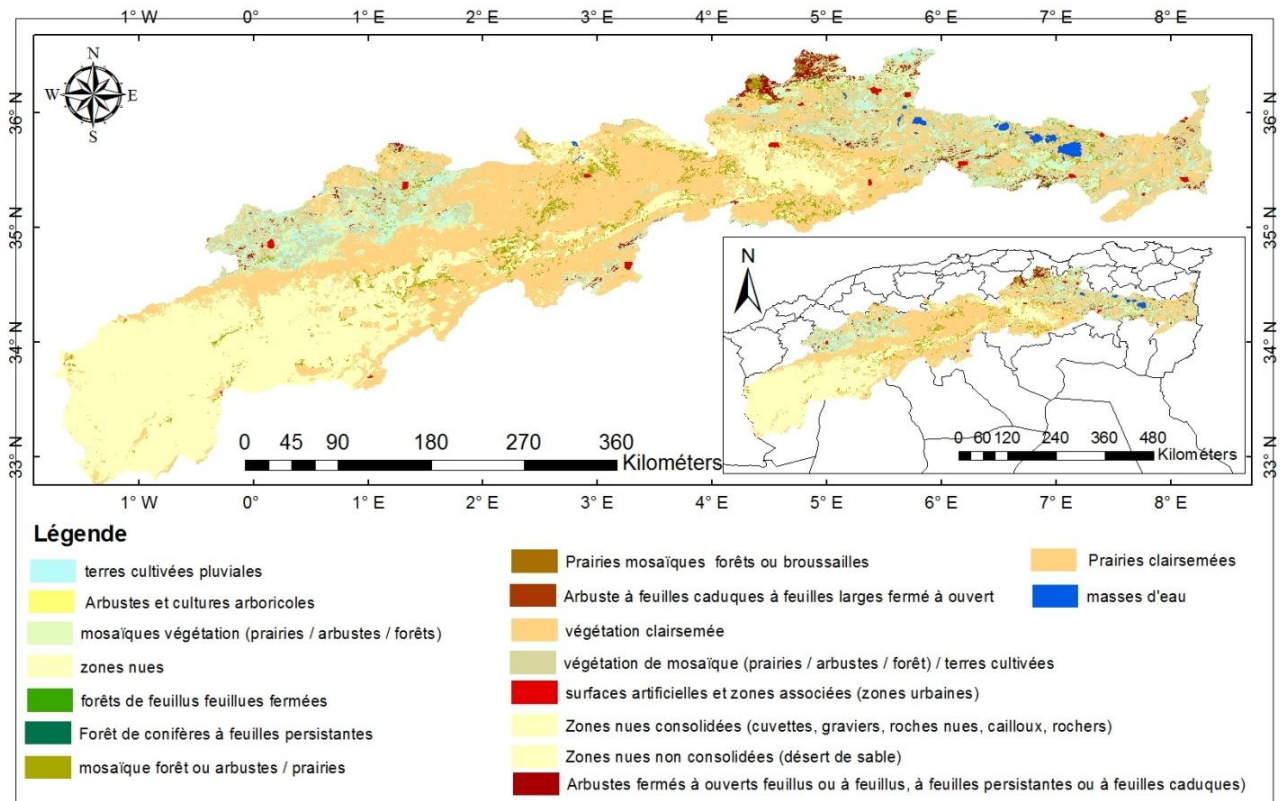


Figure 07 : Carte d'occupation du sol de la région d'étude

II.6. Etude Climatologique

Plus que d'autres facteurs, le climat est le plus déterminant des ressources en eau. Les précipitations, les températures, le vent, l'humidité, l'évapotranspiration et d'autres phénomènes atmosphériques constituent le climat des hauts plateaux.

II.6.1. Pluviométrie

Dans le tableau suivant les valeurs de la précipitation moyenne au cours de la série de 30 ans (1985-2015) pour chaque station d'après les résultats de les précipitations moyenne nous avons remarqué que la station de Setif elle est la grand valeur de 53.11 mm par rapporte les autres stations et la station de Laghouat elle est la petite précipitation de 17.44 mm (Figure 8)

Tableau 02 : Caractéristique des stations météorologiques

wilaya	l'altitude	longitude	altitude
1 – TEBESSA	35.417	8.11	945
2 - KHENCHELA	35.427	7.14	1087
3 –O.E.BOUAGHI	35.868	7.11	852
4 - M'SILA	35.694	4.53	558
5- SETIF	36.191	5.41	991
6- TISSEMSILT	35.603	1.8	863
7- DJELFA	34.33	3.38	1189
8 - LAGHOUAT	33.79	2.86	865
9 -TIARET	35.368	1.33	740
10 -SAIDA	34.84	0.14	777
11- NAAMA	33.26	-0.33	1135

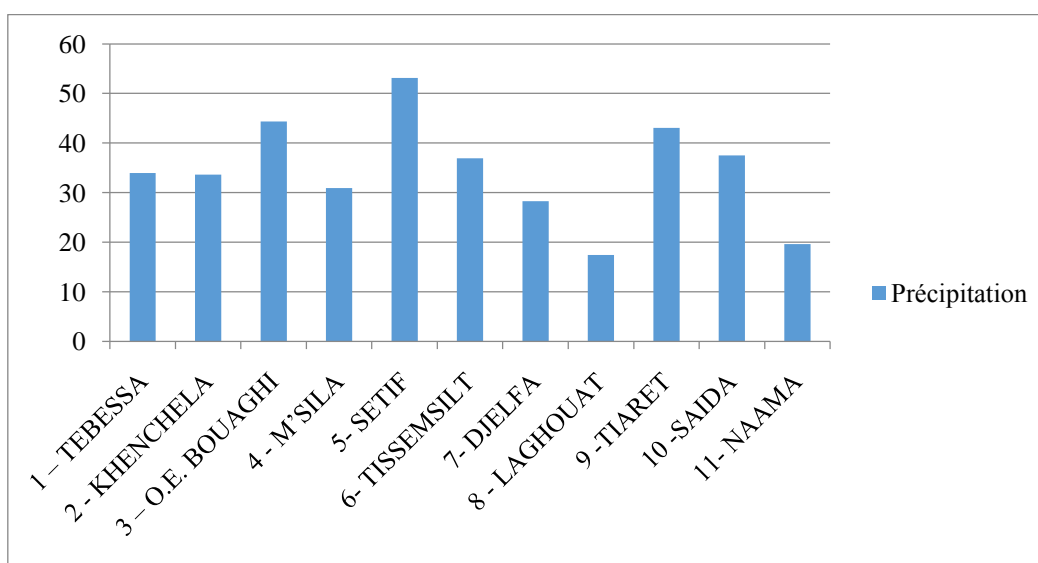


Figure 08 : Histogramme de la précipitation moyenne pour chaque station

II.6.2. Températures

La température de l'air, comme la pluviométrie, est une caractéristique importante du climat. Les températures moyennes des régions situées au niveau des Hauts Plateaux subissent de très fortes variations régionales et saisonnières. Les wilayas proches de la zone tellienne comme SETIF, BORDJ BOU ARRERIDJ et TISSEMSILT sont sous l'influence de la mer Méditerranée, qui tend à adoucir les températures. Ce phénomène s'accroît sur les zones littorales. Le contraste saisonnier est assez bien marqué entre un hiver rude (froid et sec) avec présence de neige, et un été chaud et sec. D'après l'histogramme dans la figure suivante nous avons remarqué que Laghouat elle est 18,12°C et cette valeur la plus grande par rapport aux autres stations sont également entre 15 et 16 °C

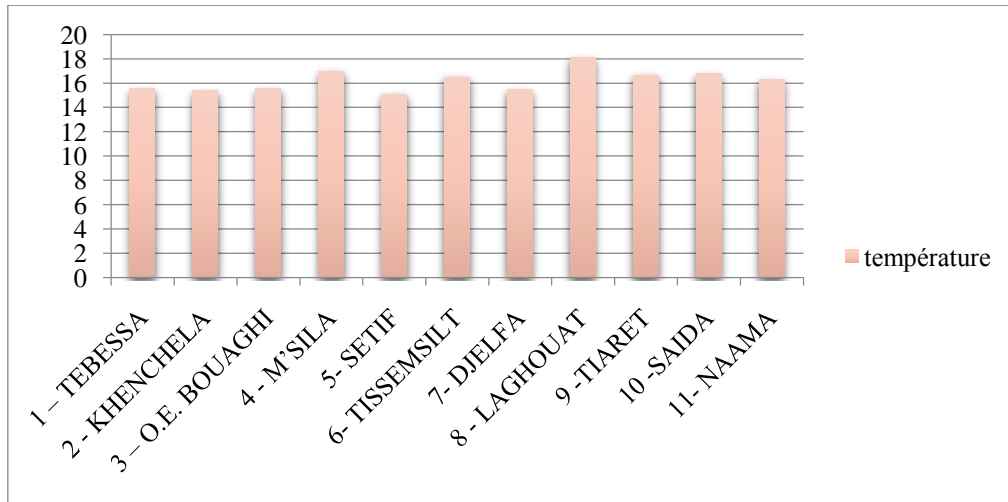


Figure 09 : histogramme de la température moyenne pour chaque station

II.6.3. Evapotranspiration potentielle (ETP) et réelle (ETR)

II.6.3.1. Evapotranspiration potentielle (ETP)

En 1944, Thornthwaite a élaboré une formule pour estimer l'évapotranspiration comme suit :

$$ETP (m) = 16 * [(10 * T (m) / I)^a * F (m, \varphi)]$$

Tels que :

ETP (m) : L'évapotranspiration potentielle moyenne du mois m (m=1 à 12) en mm

T (m) : Moyenne interannuelle des températures du mois, C°

$$a = 0.016 * I + 0.5$$

F (m,φ) = Facteur correctif fonction du mois m et de la latitude φ

I, l'indice thermique annual :

$$I = \sum_{m=1}^{12} i(m) \quad ; \quad i(m) = [T(m) / 5]^{1.514}$$

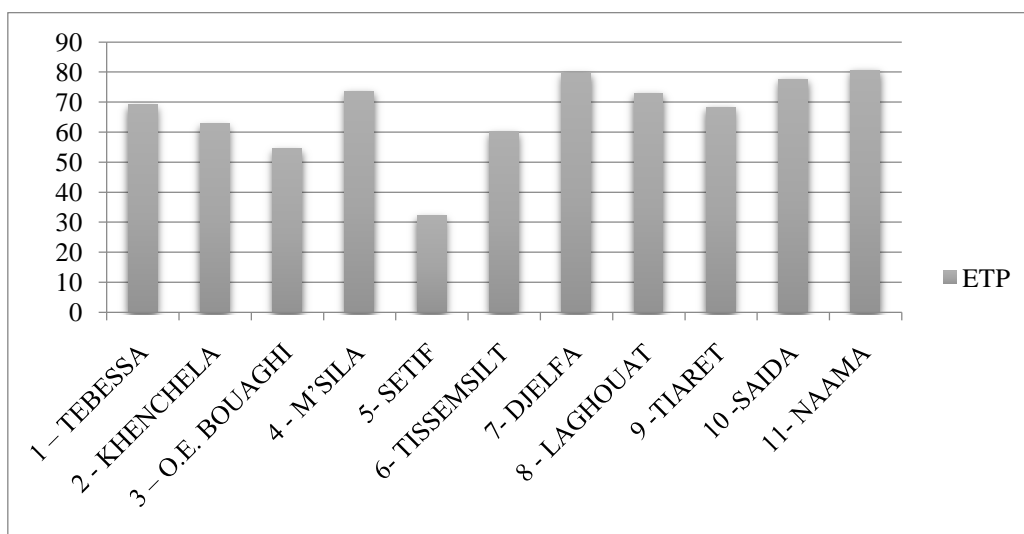


Figure 10 : histogramme de L'ETP moyenne pour chaque station

II.6.4. Diagramme Ombro-thermique

Dans le but de bien préciser et de confirmer la durée des deux saisons humide et sèche, nous avons utilisé le diagramme ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls (1953). Il permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il utilise les deux principaux paramètres climatiques la température et les précipitations, représentées en abscisse par les mois de l'année, en ordonnées par les précipitations en mm et les températures moyennes en°C. Avec une échelle de P=2T.

L'utilisation des données pluviométriques et thermiques de la zone d'étude permet de tracer la courbe Ombro-thermique (Figure 11,12 et 13) qui met en évidence la durée et l'intensité de deux périodes, dans notre cas les périodes humides et sèches sont identiques :

- L'autre humide : s'étalant du mois d'Octobre au mois de Mai.
- L'une de sécheresse : s'étalant entre le mois de Mai et le mois de Septembre.

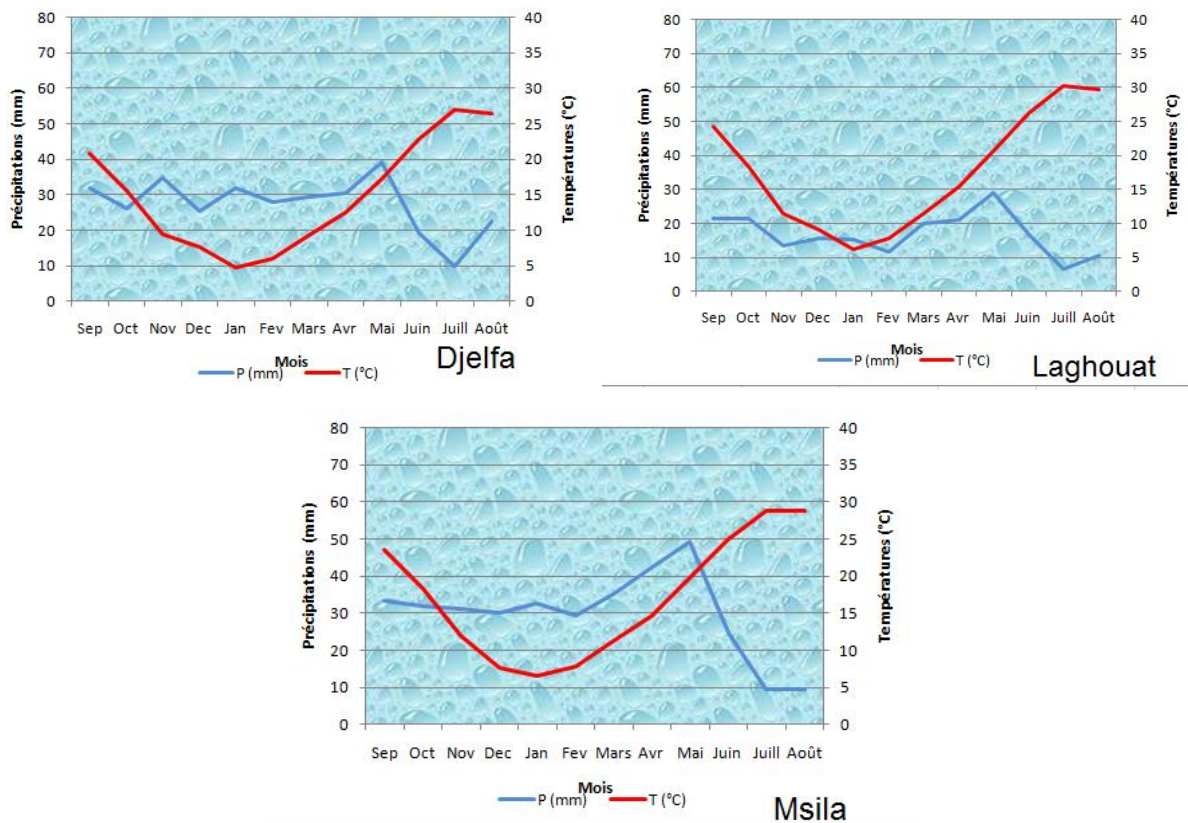


Figure 11. Diagramme Ombro-thermique des stations des hauts plateaux centre

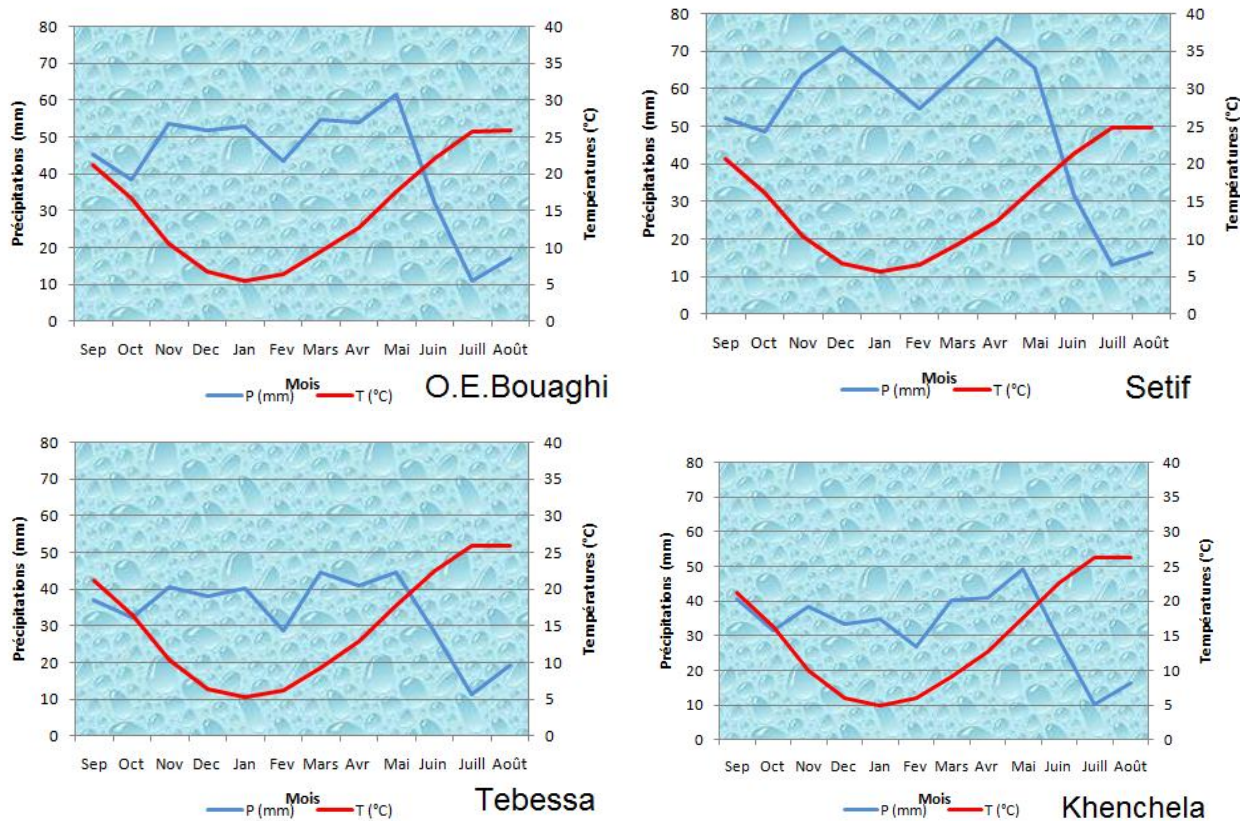


Figure 12. Diagramme Ombro-thermique des stations des hauts plateaux Est

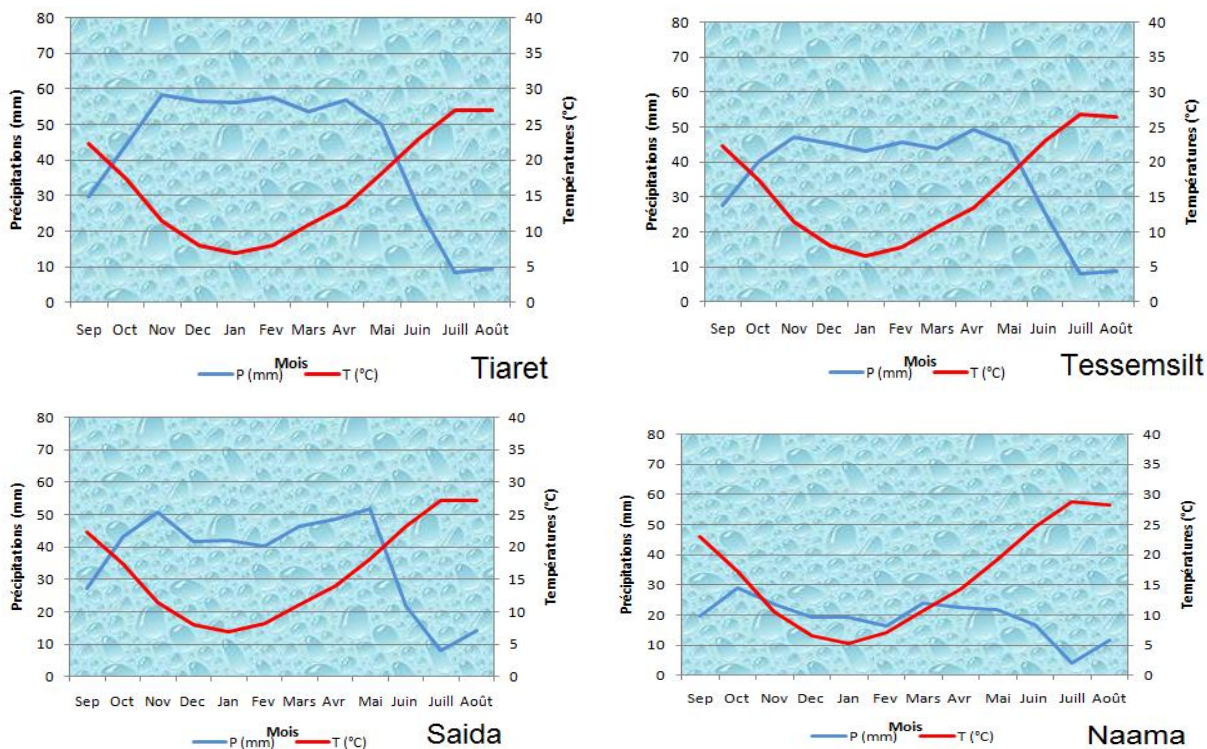


Figure 13. Diagramme Ombro-thermique des stations des hauts plateaux Ouest

II.6.5. Notion du bilan d'eau

Le bilan d'eau global correspond à une équation entre les apports et les pertes qui influent directement sur la variation des réserves. Ainsi pour déterminer le bilan de la région étudiée, il est indispensable d'évaluer ses composantes (infiltration, ruissellement et évapotranspiration). Pour cela, nous nous sommes basées sur les données de 11 stations dans la région des hauts plateaux pour une période d'observation de 30 ans (1985-2015).

L'excédent des précipitations sur l'évapotranspiration potentielle est emmagasiné dans le sol. Ce qu'il augmente les réserves (RU) jusqu'à ce que ce dernier soit saturé.

II.6.5.1. Bilan du Station de Djelfa

Les graphes de la figure 14 montrent que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre une valeur maximale de l'ordre de 26 mm aux mois de janvier, Février et Mars. Elle diminue à partir du mois de Mars jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois d'Avril, l'apparition du déficit agricole (DA) à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Octobre. L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (176.3 mm) et son minimum au mois de janvier (7.5 mm). On peut constater que notre bilan hydrique est déficitaire durant toute l'année sauf les mois allant du mois de Novembre jusqu'au mois de Avril (Tableau03). Enfin on peut constater que notre bilan hydrique est déficitaire durant toute l'année.

Tableau.03 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Djelfa.

Djelfa	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	20.88	8.7	1.03	97.2	31.92	-65.3	-0.7	0.0	0.0	31.9	65.3	0.0
O	15.66	5.6	0.97	57.7	26.23	-31.4	-0.5	0.0	0.0	26.2	31.4	0.0
N	9.44	2.6	0.86	22.6	34.67	12.0	0.5	12.0	12.0	22.6	0.0	0.0
D	7.55	1.9	0.81	14.9	25.39	10.5	0.7	10.5	22.5	14.9	0.0	0.0
J	4.73	0.9	0.87	7.5	31.82	24.3	3.2	3.5	26.0	7.5	0.0	20.8
F	6.01	1.3	0.85	10.8	27.93	17.1	1.6	0.0	26.0	10.8	0.0	17.1
M	9.20	2.5	1.03	26.0	29.29	3.3	0.1	0.0	26.0	26.0	0.0	3.3
A	12.51	4.0	1.10	45.5	30.41	-15.1	-0.3	-15.1	10.9	45.5	0.0	0.0
M	17.23	6.5	1.21	83.8	39.04	-44.8	-0.5	-10.9	0.0	49.9	33.9	0.0
J	22.77	9.9	1.22	132.4	19.32	-113.1	-0.9	0.0	0.0	19.3	113.1	0.0
J	26.94	12.8	1.24	176.3	9.65	-166.7	-0.9	0.0	0.0	9.7	166.7	0.0
A	26.39	12.4	1.16	159.5	22.49	-137.0	-0.9	0.0	0.0	22.5	137.0	0.0
Annuel	14.9	69.2		834.4	328.2	-506.2				287.0	547.4	41.2

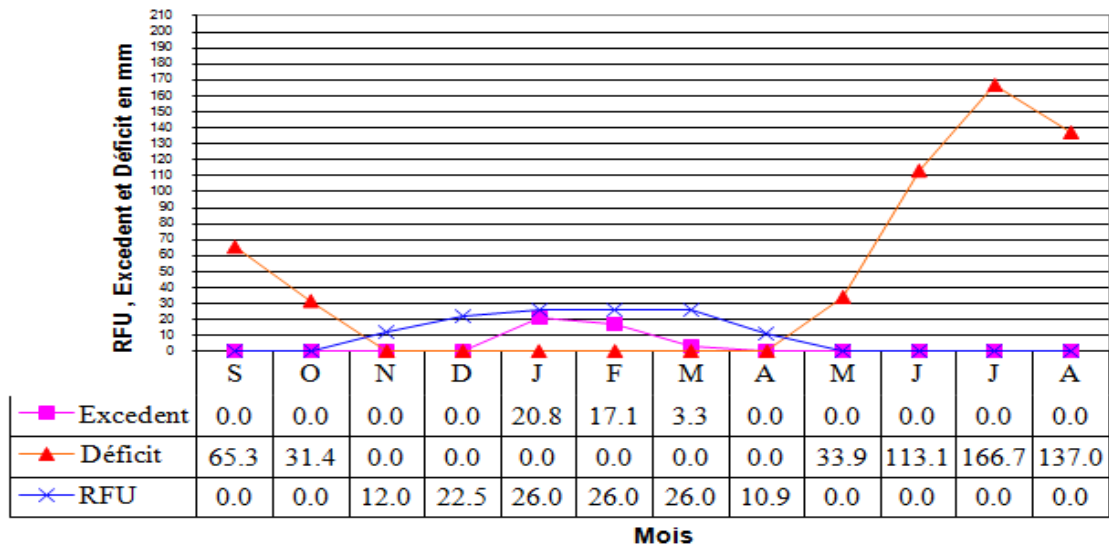


Figure.14 : Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la station de Djelfa (1985-2015).

II.6.5.2. Bilan du Station de Namaa

Le déficit annuel est de l'ordre de 680,3 mm (1985-2015) et atteint son maximum au mois de Juillet avec 189.7mm (Tableau 04). Cet indice est l'expression d'une approximation des besoins en eau d'irrigation des cultures, étant donné que la formule de Thornthwaite a tendance à sous-estimer les fortes ETP, particulièrement en zone aride et semi-aride, où elle ne tient pas compte de l'accentuation de l'ETP due aux phénomènes adventifs.

Tableau.04 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de Namaa.

Naama	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	23.01	10.1	1.03	108.9	19.65	-89.2	-0.8	0.0	0.0	19.7	89.2	0.0
O	17.21	6.5	0.97	61.5	29.09	-32.4	-0.5	0.0	0.0	29.1	32.4	0.0
N	10.44	3.0	0.86	22.6	23.55	0.9	0.0	0.9	0.9	22.6	0.0	0.0
D	6.46	1.5	0.81	9.2	19.04	9.9	1.1	9.9	10.8	9.2	0.0	0.0
J	5.31	1.1	0.87	7.0	19.40	12.4	1.8	12.4	23.2	7.0	0.0	0.0
F	7.16	1.7	0.85	11.5	16.15	4.6	0.4	2.8	26.0	11.5	0.0	1.8
M	10.61	3.1	1.03	27.9	24.03	-3.9	-0.1	-3.9	22.1	27.9	0.0	0.0
A	14.23	4.9	1.10	49.9	22.46	-27.5	-0.6	-22.1	0.0	44.6	5.3	0.0
M	19.23	7.7	1.21	93.3	21.85	-71.4	-0.8	0.0	0.0	21.9	71.4	0.0
J	24.63	11.2	1.22	145.3	16.64	-128.7	-0.9	0.0	0.0	16.6	128.7	0.0
J	28.75	14.1	1.24	193.9	4.14	-189.7	-1.0	0.0	0.0	4.1	189.7	0.0
A	28.20	13.7	1.16	175.3	11.80	-163.5	-0.9	0.0	0.0	11.8	163.5	0.0
Annuel	16.3	78.6		906.3	227.8	-678.5				226.0	680.3	1.8

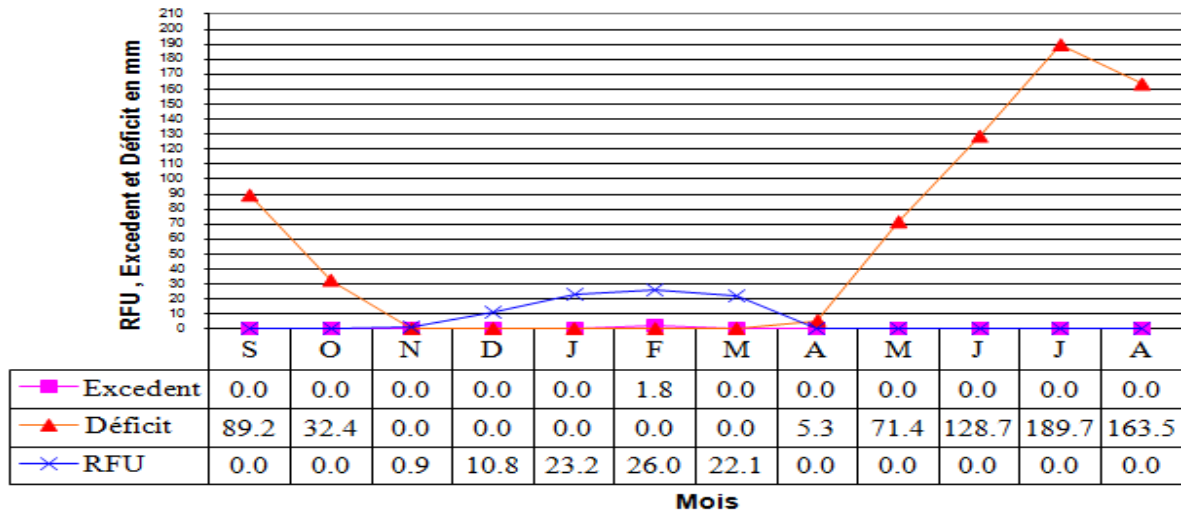


Figure.15 : Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la station de Namaa (1985-2015).

II.6.5.3. Bilan du Station de Khanchela

Les graphes de la figure 15 montrent que la RFU (réserve facilement utilisable) commence à se reconstituer à partir du mois de Novembre pour atteindre une valeur maximale de l'ordre de 26 mm aux mois de janvier, Février et Mars. Elle diminue à partir du mois de Mars jusqu'à ce qu'elle soit totalement épuisée au mois d'Avril, l'apparition du déficit agricole (DA) à partir du mois de Avril jusqu'au mois d'Novembre. L'ETP atteint son maximum au mois de juillet (168.9mm) et son minimum au mois de Novembre (8.1mm). On peut constater que notre bilan hydrique est déficitaire durant toute l'année sauf les mois allant du mois de novembre jusqu'au mois de Avril. Enfin on peut constater que notre bilan hydrique est déficitaire durant toute l'année.

Tableau.05 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de la station de khanchela

Khanchela	Tp	IT	CL	ETPC	Pr	BH	CH	VR	RU	ETPR	Def	Exc
S	21.19	8.9	1.03	99.8	40.47	-59.3	-0.6	0.0	0.0	40.5	59.3	0.0
O	16.24	5.9	0.97	61.3	31.37	-29.9	-0.5	0.0	0.0	31.4	29.9	0.0
N	9.92	2.8	0.86	24.7	38.21	13.5	0.5	13.5	13.5	24.7	0.0	0.0
D	6.01	1.3	0.81	10.4	33.21	22.8	2.2	12.5	26.0	10.4	0.0	10.3
J	4.90	1.0	0.87	8.1	34.86	26.8	3.3	0.0	26.0	8.1	0.0	26.8
F	5.92	1.3	0.85	10.7	26.84	16.2	1.5	0.0	26.0	10.7	0.0	16.2
M	9.11	2.5	1.03	25.8	40.10	14.3	0.6	0.0	26.0	25.8	0.0	14.3
A	12.66	4.1	1.10	46.7	40.86	-5.8	-0.1	-5.8	20.2	46.7	0.0	0.0
M	17.62	6.7	1.21	87.2	49.22	-38.0	-0.4	-20.2	0.0	69.4	17.8	0.0
J	22.54	9.8	1.22	130.4	28.50	-101.9	-0.8	0.0	0.0	28.5	101.9	0.0
J	26.22	12.3	1.24	168.9	10.19	-158.8	-0.9	0.0	0.0	10.2	158.8	0.0
A	26.17	12.3	1.16	157.5	16.36	-141.2	-0.9	0.0	0.0	16.4	141.2	0.0
Annuel	14.9	68.9		831.4	390.2	-441.3				322.6	508.8	67.6

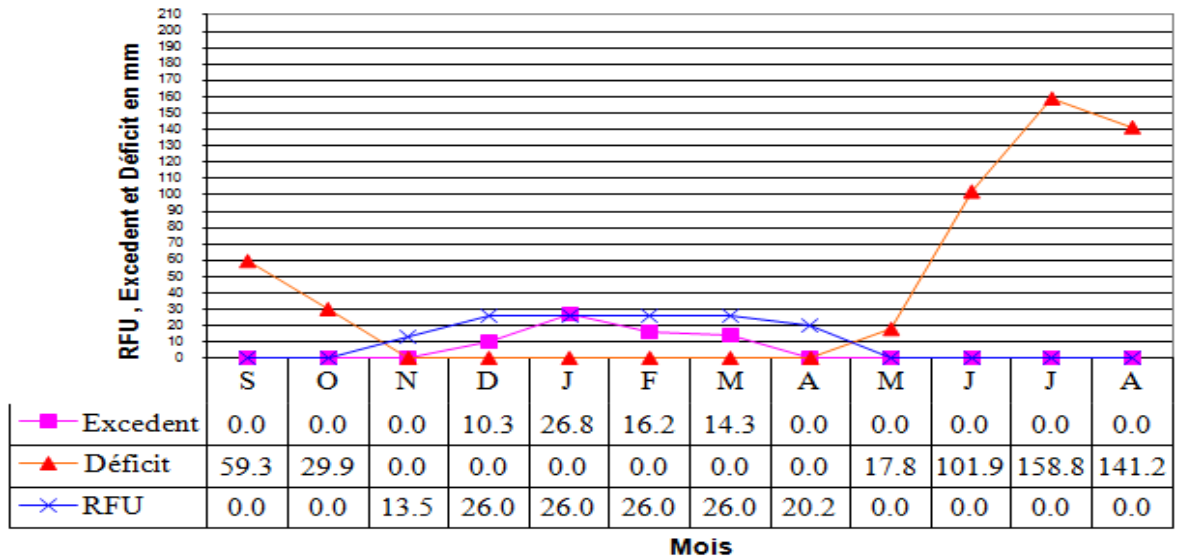


Figure. 16 : Diagramme de la variation de la RFU, du déficit agricole et de l'excédent à la station de khenchela (1985-2015).

Le tableau suivant (tableau06) Récapitule les résultats de bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE des 11 stations de la zone d'étude en remarque que la station de Laghouat elle marqué des valeurs de température moyenne de 17.56C° avec un déficit de 765.22mm et grand valeur de l'ETP de 967.75 mm par rapporte les autres stations, Setif elle est la plus grand pluviométrie de 616.77 mm

Tableau.06: Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE de toutes les stations d'étude

Stations	Tp moy	IT	ETPC	Pr	BH	ETPR	Def	Exc
DJELFA	14.94	69.24	834.41	328.17	-506.23	287.00	547.41	41.17
KHENCHEIA	14.88	68.88	831.45	390.18	-441.27	322.61	508.84	67.58
Laghouat	17.56	87.35	967.75	202.53	-765.22	202.53	765.22	0.00
Mesila	16.99	82.87	927.77	358.95	-568.82	314.64	613.13	44.30
Naama	16.27	78.65	906.28	227.81	-678.47	226.01	680.27	1.80
O.E_Boughi	15.02	69.17	828.32	515.24	-313.09	365.98	462.34	149.26
Saida	16.22	76.53	873.69	435.52	-438.17	340.49	533.20	95.03
Setif	14.61	66.06	804.68	616.77	-187.91	392.00	412.68	224.77
Tebessa	15.02	69.41	831.85	405.22	-426.63	324.04	507.81	81.18
Tessemsilt	15.95	74.81	862.16	428.87	-433.30	326.64	535.52	102.22
Tiaret	16.10	75.80	868.90	506.75	-362.15	340.34	528.57	166.41

Conclusion

Notre zone d'étude se trouve entre l'Atlas saharien et l'Atlas Tallien et regroupe-les sous bassin versant situés entre les deux altitudes 1200 m. Du point de vue hydrologique le régime des oueds, est une conséquence directe du régime pluviométrique, est caractérisé par une alternance de crues courtes et violentes, et d'étiages sévères, dont les débits sont parfois très faibles, voire nuls.

Les niveaux aquifères raisonnablement exploitables sont les formations superficielles ou récentes du Néogène-Quaternaire, d'une part, et les grès du Crétacé inférieur d'autre part (Barrémien et Albien). Les autres formations sont certes des réservoirs potentiels ; mais leur exploration et leur exploitation sont difficiles. Le domaine des Hauts Plateaux est un pays calcaire très fracturé; l'étude détaillée de ce vaste aquifère fissuré reste à faire.

La région d'étude est soumise à une variation climat semi aride à sub-humide, caractérisé par des précipitations moyennes relativement faibles de 401.46 mm au niveau des stations d'étude Ce climat est marqué par une évapotranspiration moyenne de 857.02mm

2^{ème} CHAPITRE

MATÉRIELS ET MÉTHODES



Introduction

La problématique des changements climatiques a été considéré l'un des problèmes majeurs du développement à l'échelle locale et régionale voire même à l'échelle internationale, les problèmes liés aux changements climatiques occupent une importante place parmi les préoccupations majeures contemporaines. Le changement climatique est un phénomène qui fait et qui fait encore largement parler de lui compte tenu des fluctuations qui touchent le climat terrestre, et leur conséquence sur le mode de vie de l'humanité.

La principale problématique qui en est ressortie réside dans la variabilité climatique et au changement climatique. Dans plusieurs régions du globe, les événements météorologiques extrêmes sont devenus de plus en plus fréquents et de plus en plus répandus. Cela a rappelé à la communauté scientifique internationale une évidence première. Le climat de notre planète est très variable dans le temps et dans l'espace. Dans cette optique, l'organisation météorologique mondiale (OMM) et le Groupe Intergouvernemental des experts du climat (GIEC) estiment qu'il est nécessaire actuellement, d'entreprendre des études de diagnostic pour déterminer empiriquement et statistiquement les caractéristiques du système climatique et sa variabilité pour différentes régions du globe.

I. Généralités sur la sécheresse

Les sécheresses se classent parmi les dangers naturels les plus coûteux d'une année sur l'autre; elles ont des conséquences considérables et étendues, qui touchent en même temps une multitude de secteurs économiques et une large population. Les superficies affectées sont généralement plus vastes que ce n'est le cas pour d'autres phénomènes, qui se cantonnent aux plaines d'inondation, aux régions côtières, aux trajectoires des tempêtes ou aux zones de faille, par exemple. C'est peut-être le danger naturel qui se prête le mieux à la surveillance car le phénomène est lent à s'installer, ce qui donne le temps d'observer l'évolution des précipitations, des températures et de l'état général des réserves d'eaux superficielles et souterraines dans le secteur menacé. Le suivi des sécheresses fait fréquemment appel à des indicateurs ou des indices qui varient selon la région et la saison. Comme d'autres aléas, la sécheresse peut être décrite par son intensité, son emplacement, sa durée et son moment d'apparition. Elle est provoquée par divers processus hydrométéorologiques qui inhibent les précipitations ou limitent le volume des eaux superficielles et souterraines disponibles, créant des conditions beaucoup plus sèches que la normale ou réduisant autrement l'humidité disponible dans des proportions potentiellement dommageables.

Les sécheresses parmi d'autres phénomènes liés de près aux changements climatiques, touchent de plus en plus les quatre coins du globe. Elle peut être définie comme un déséquilibre naturel temporaire de la disponibilité de l'eau et consiste donc à des précipitations persistantes inférieures à la normale, difficile à prévoir, entraînant une diminution de la disponibilité des ressources en eau (Pereira et al. 2009). C'est l'une des catastrophes naturelles les plus coûteuses au monde, qui affecte plus de personnes que d'autres formes de catastrophes (Keyantash et Dracup, 2002). Nombreuses études se sont concentrées sur les sécheresses en méditerranée. Basé sur une étude à l'échelle mondiale, Spinoni et al. (2014) ont signalé une augmentation significative de la fréquence, de la durée et de la sévérité de la sécheresse dans cette région. Une étude de Giorgi et Lionello (2008) sur les impacts du changement climatique dans le bassin méditerranéen a révélé une diminution évidente des précipitations associée à un réchauffement évident, principalement pendant la saison estivale. En outre, Giorgi et Lionello (2008) ont suggéré que la Méditerranée pourrait être une région très vulnérable aux changements globaux. Par conséquent, il est probable que les sécheresses affecteront beaucoup plus cette région

II. Indices et indicateurs de sécheresse

Il est important de préciser ce que l'on entend par indicateurs et par indices de sécheresse. Les indicateurs : sont des variables ou des paramètres qui servent à décrire les conditions de sécheresse. Citons, par exemple, les précipitations, la température, l'écoulement fluvial, le niveau des nappes et des réservoirs, l'humidité du sol et le manteau neigeux.

Le plus souvent sont des représentations numériques de l'intensité des sécheresses, que l'on calcule à partir de valeurs climatiques ou hydrométéorologiques, dont les indicateurs précités. Ils mesurent l'état qualitatif d'une sécheresse à un emplacement donné pour une période donnée. Techniquement, ce sont eux aussi des indicateurs. La surveillance du climat à diverses échelles temporelles permet de détecter de brefs épisodes humides au sein de longues périodes de sécheresse ou de brefs épisodes secs au sein de longues périodes d'humidité. Les indices simplifient parfois certaines relations complexes et facilitent la communication d'informations à divers utilisateurs et parties prenantes, dont le public. Ils servent à établir l'intensité, l'emplacement, l'époque d'apparition et la durée d'un épisode de sécheresse. L'inter-nésite désigne l'écart que présente un indice par rapport à la valeur normale. Un seuil d'intensité peut être fixe pour déterminer quand une sécheresse a commencé, quand elle s'est achevée et quelle zone a été touchée. L'emplacement désigne les zones géographiques qui subissent les conditions de sécheresse. L'époque d'apparition et la durée renvoient aux dates approximatives

auxquelles ces conditions se sont installées et ont cessé. Les impacts dépendent de la conjonction du phénomène dangereux lui-même, des éléments qui y sont exposés (personnes, terres agricoles, réservoirs, sources d'approvisionnement en eau) et de la vulnérabilité de ces derniers. Les sécheresses antérieures peuvent avoir accentué la vulnérabilité, par exemple en provoquant la vente de biens de production pour parer à des besoins immédiats. L'époque d'apparition d'une sécheresse peut, autant que son intensité, déterminer les impacts subis. Une sécheresse de courte durée et d'intensité modérée qui survient alors qu'une culture bien établie est sensible à l'humidité a parfois un effet plus dévastateur sur le rendement qu'une sécheresse longue et intense qui survient à un moment moins crucial du cycle de culture. Les indices de sécheresse complétés par des informations sur les éléments exposés et sur leur vulnérabilité propre sont donc essentiels pour suivre et anticiper les impacts. Certains présentent en outre l'immense avantage de fournir aux planificateurs et aux décideurs une valeur de référence historique qui donne une idée de la probabilité que survienne ou que se répète une sécheresse d'intensité particulière. Il faut savoir néanmoins que l'évolution du climat commencera à modifier les configurations passées. Les informations tirées des indicateurs et des indices sont utiles pour planifier et concevoir des applications (évaluations des risques, systèmes d'alerte précoce, outils d'aide à la décision en vue d'atténuer la menace dans les zones touchées) à condition de connaître le régime climatique et la climatologie des sécheresses dans la région. De plus, divers indicateurs et indices peuvent servir à valider les résultats obtenus par modélisation, par assimilation ou par télédétection. ([manuel des indices et indicateurs](#))

II.1.Méthodes de suivi et d'évaluation de la sécheresse

Il existe essentiellement trois façons de surveiller les conditions de sécheresse et de faciliter l'alerte précoce et l'évaluation:

- Utiliser un seul indicateur ou indice;
- Utiliser plusieurs indicateurs ou indices;
- Utiliser des indicateurs composites ou hybrides.

les décideurs et les scientifiques analysaient un seul indicateur ou indice car ils ne disposaient pas d'autres éléments de mesure ou manquaient de temps pour obtenir des données et calculer des indices dérivés ou d'autres valeurs. Ces nouveaux outils ont offert une plus grande palette de choix aux décideurs et aux dirigeants mais, jusqu'à récemment, on ne disposait toujours pas d'une méthode claire pour synthétiser les résultats sous la forme d'un message simple qui puisse être transmis au public. Pour une analyse plus poussée de la cartographie des indices et

des indicateurs de sécheresse, du Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé (OMM, 2012).

Le choix des indicateurs ou des indices peut être source de perplexité, surtout si ces valeurs s'inscrivent dans un plan global de lutte contre la sécheresse et doivent servir à déclencher des mesures de gestion. Il faut du temps, des essais et des erreurs pour déterminer ce qui convient le mieux pour tel ou tel emplacement, zone, bassin ou région. On a vu apparaître il y a une dizaine d'années une nouvelle catégorie d'indicateurs composites (parfois dits hybrides) qui offre la possibilité de fusionner plusieurs indicateurs ou indices, en procédant ou non à une pondération ou en recourant à la modélisation. L'idée est d'allier les avantages de diverses valeurs d'entrée tout en conservant une source d'information unique simple pour les décideurs, les dirigeants et le public. Sachant que l'évaluation de l'intensité d'une sécheresse est plus précise quand elle repose sur plusieurs indicateurs de la quantité d'eau disponible dans une zone ou une région donnée, la méthode composite ou hybride permet d'inclure davantage d'éléments dans la démarche.

II.2.Choix des indicateurs et indices

Tout comme il n'existe pas de définition unique de la sécheresse, il n'existe pas d'indicateur ou d'indice qui correspondrait et conviendrait à tous les types de sécheresse, tous les climats et tous les secteurs touchés. La réponse aux questions suivantes pourra aider à faire apparaître les indicateurs et les indices les plus adaptés à la situation:

- ❖ Les indicateurs ou indices permettent-ils de déceler les conditions de sécheresse assez tôt pour qu'il soit possible de communiquer l'information et de coordonner les mesures de lutte ou d'atténuation?
- ❖ Les indicateurs ou indices sont-ils assez sensibles aux conditions climatiques, spatiales et temporelles pour établir le moment où débute et où cesse une sécheresse?
- ❖ Les indicateurs ou indices et les échelles d'intensité font-ils convenablement état des impacts observés sur place, dans la zone ou la région touchée?
- ❖ Utilise-t-on les mêmes indicateurs, indices et seuils pour le début et pour la fin d'une période de sécheresse? Il est crucial de rendre compte des deux situations.
- ❖ Emploie-t-on des indicateurs composites (hybrides) afin d'analyser un grand nombre de facteurs et de paramètres?
- ❖ Les données et les indices ou indicateurs qui en résultent sont-ils disponibles et stables? Autrement dit, détient-on une longue série de relevés qui donne aux planificateurs et aux décideurs de solides références historiques et statistiques?

- ❖ Les indicateurs ou indices sont-ils faciles à calculer? Les utilisateurs ont-ils assez de temps et de ressources humaines à affecter à l'exercice et ces moyens seront-ils maintenus en l'absence de sécheresse? Il est plus facile de justifier un tel dispositif s'il sert à surveiller tous les aspects du cycle hydrologique ou climatique, pas seulement les épisodes de sécheresse.

En dernier ressort, le choix revient aux utilisateurs à l'échelon régional, national ou local. Il est recommandé d'intégrer plusieurs indicateurs ou indices, ou un indicateur ou indice composite ou hybride, dans un système d'alerte précoce qui relève d'un plan global d'atténuation de la sécheresse. Cela suppose, en principe, de réaliser des analyses approfondies et d'adopter une approche expérimentale pour établir quels indicateurs sont le plus efficaces dans un régime climatique, une région, un bassin ou un lieu donné. Les indicateurs ou indices choisis peuvent ensuite être recommandés ou intégrés dans un système d'alerte précoce, comme valeurs seuils reliées aux mesures d'atténuation ou d'intervention d'urgence prévues dans le plan de lutte contre la sécheresse.

II.3. Sources d'information sur les indicateurs et indices

Il existe plusieurs sources d'information sur les nombreux indicateurs et indices qui sont employés aujourd'hui dans le monde. Le National Drought Mitigation Center (NDMC) de l'Université du Nebraska à Lincoln (États-Unis d'Amérique) compte une section spéciale qui décrit et explique certains indices d'usage courant

<http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>,
http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized

L'OMM et le NDMC ont organisé en 2009, à l'Université du Nebraska à Lincoln, un atelier interrégional sur les indices et les systèmes d'alerte précoce applicables à la sécheresse. La Déclaration de Lincoln sur les indices de sécheresse qui a été adoptée à cette occasion recommandait d'utiliser l'indice de précipitations normalisé pour établir l'existence d'une sécheresse météorologique (Hayes *et al.*, 2011). Le *Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé* publié par l'OMM

Par la suite, l'OMM et le Bureau des Nations Unies pour la prévention des catastrophes ont organisé, de concert avec la Confédération hydrographique du Segura et le Service météorologique espagnol, une réunion d'experts sur les indices de sécheresse appliqués à l'agriculture, qui s'est tenue à Murcie (Espagne) en 2010 (Sivakumar *et al.*, 2011). Des scientifiques du monde entier, représentant toutes les régions de l'OMM, ont analysé 34 indices qui servent à estimer les impacts de la sécheresse sur l'agriculture, en vue de mettre en lumière leurs points forts et leurs points faibles. Le compte rendu de leurs travaux, rassemblant 17 articles, a été publié sous le titre *Agricultural Drought Indices: Proceedings of an Expert*

Meeting et est disponible à l'adresse suivante <http://www.droughtmanagement.info/> On consultera également avec profit les références données à la fin du présent ouvrage, par exemple Heim (2002), Keyantash et Dracup (2002) ou Zargar *et al.* (2011), qui passent en revue les indices de sécheresse utilisés aujourd'hui et par le passé. Pour toute assistance concernant le choix, l'interprétation ou l'application d'indicateurs et d'indices, s'adresser au Programme de gestion intégrée des sécheresses par l'intermédiaire de son site Web. <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm11/agm11.pdf>

III. Outils d'aide à la décision

III.1. Système d'information géographique(SIG)

Le SIG par définition est un système informatique permettant, à partir de diverses sources, de rassembler, d'organiser, de gérer, d'analyser, de combiner, d'élaborer et de présenter des informations localisées géographiquement, contribuant notamment à la gestion d'espace. (Société française de photogrammétrie et télédétection 1989). Les SIG sont aussi des moyens de présentation et d'interprétation des faits observés à la surface terrestre (TOMLIN, 1990) ; le schéma suivant explique bien cette définition. On peut appeler aussi **SIG**, les systèmes capables de stocker, partager, consulter et manipuler les objets représentés sur les cartes et les plans avec leur description géométrique, ainsi que toute l'information qui leur est attachée. (LAURINI & MILLERET-RAFFAU 1993).

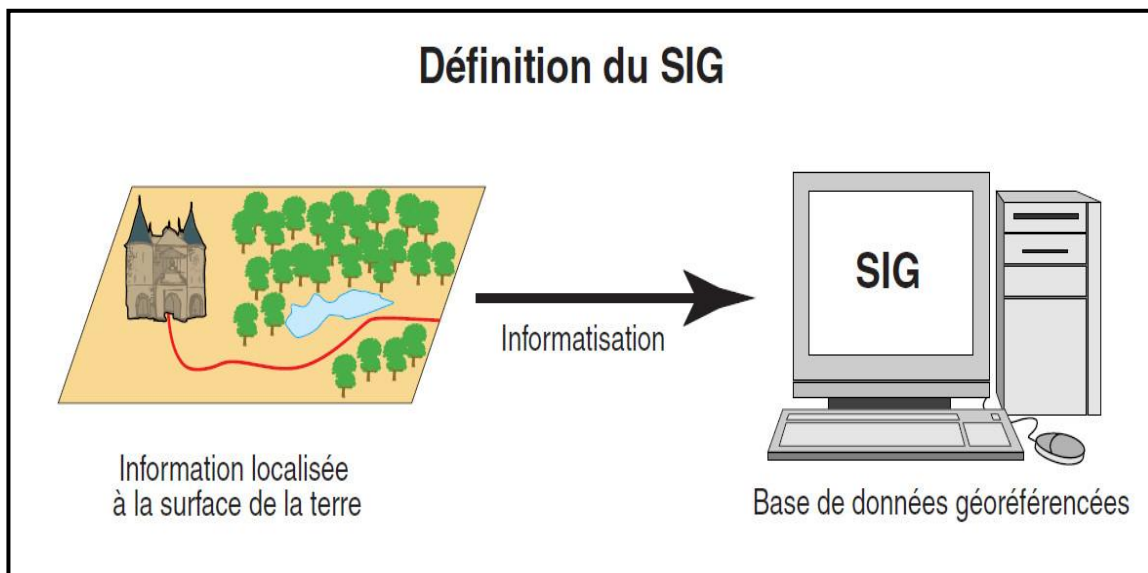


Figure. 17: Définition du SIG (Laboratoire de cartographie appliquée - Élisabeth HABERT – IRD, 2000).

III.1.1. Les grandes fonctions d'un SIG

Selon (JEMMA, 1993) Les apports essentiels des **SIG** pour la **GIRE** sont :

-Le traitement systématique des problèmes.

- La résolution de complexité du système de ressource à travers un travail multidisciplinaire.
- L'optimisation de la décision sur l'usage de l'eau.

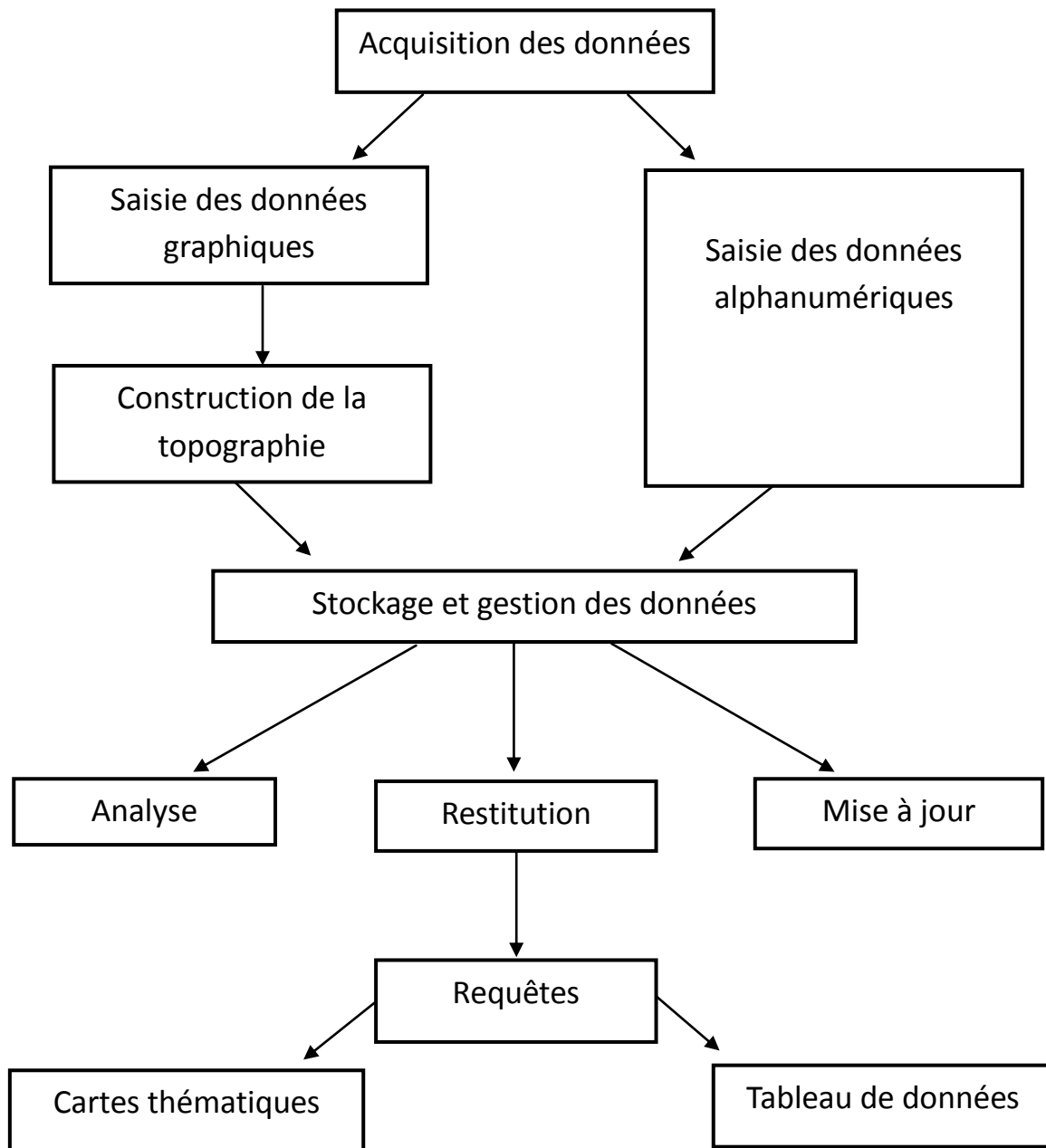


Figure. 18 : Les grandes fonctions d'un SIG (François Laurent, 1996).

I.2.1.2. Coupler un SIG avec un modèle de simulation

Les SIG sont actuellement inadaptés à la modélisation temporelle car ils sont incapables de gérer le temps (NYERGER, 1993).

C'est pour cette raison que les chercheurs ont tenté de coupler un SIG avec des outils de simulations.

Les modèles hydrologiques sont des représentations mathématiques de l'écoulement de l'eau et de ses éléments dissouts sur/sous une partie de la surface terrestre. (MAIDMENT, 1993).

Selon (ELKHADI, 1989) les modèles hydrologiques tentent de représenter l'évaluation dans le temps, et dans l'espace, d'un certain nombre de composantes qui contrôlent l'écoulement, telles que le climat, le sol ou la végétation.

Le choix du logiciel utilisé dans cette étude est basé sur la disponibilité, l'accessibilité et la flexibilité des paramètres qui le composent et qui permettent l'exploitation d'un large éventail de bases de données collectées.

III.1. 2. DrinC (Drought Indices Calculator)

La sécheresse est un phénomène complexe qui peut être caractérisé principalement par sa sévérité, sa durée et son étendue. Parmi ces trois dimensions, la gravité de la sécheresse est le facteur clé pouvant être utilisé pour l'analyse de la sécheresse. Sécheresse les indices sont généralement utilisés pour évaluer la gravité de la sécheresse de manière significative. **DrinC (Drought Indices Calculator)** est un logiciel développé pour fournir une interface simple, bien qu'adaptable, pour le calcul des performances indices de sécheresse. Le document vise à présenter la conception globale et la mise en œuvre du logiciel ainsi que l'utilisation de diverses approches pour l'analyse de la sécheresse. DrinC peut être utilisé pour le calcul de deux développés, l'indice de sécheresse de reconnaissance (RDI) et l'indice de sécheresse de flux (SDI), ainsi que deux des indices largement connus, l'indice de précipitation normalisé (SPI) et les déciles de précipitation (PD). De plus, le logiciel comprend un module d'estimation de l'évapotranspiration potentielle (PET) par la température méthodes, utiles pour le calcul de RDI. Le logiciel peut être utilisé dans diverses applications, telles que la sécheresse surveillance, évaluation de la répartition spatiale de la sécheresse, étude des scénarios de climat et de sécheresse, etc. Les applications de DrinC à plusieurs endroits, notamment dans les régions arides et semi-arides, montrent qu'il gagne du terrain en tant que outil de recherche utile et opérationnel pour l'analyse de la sécheresse

III.1. 2.1. Calcule des indices de sécheresse

DrinC (Drought Indices Calculator) a pour objectif de fournir un outil convivial pour le calcul des plusieurs indices de sécheresse. L'objectif principal dans sa conception était l'applicabilité la plus large possible à plusieurs types de sécheresse (météorologique, hydrologique, agricole) et différents emplacements. C'était aussi tenir compte du fait que les études de sécheresse sont particulièrement essentielles dans les régions arides et semi-arides, où la disponibilité des

données est généralement limitée. Par conséquent, les principaux critères de sélection des indices sont :

- ❖ Avoir des besoins en données relativement faibles, ce qui permet l'application du logiciel dans de nombreux régions
- ❖ Leurs résultats soient clairement interprétés pour une utilisation opérationnelle directe et efficace. Sur la base de ces critères, deux indices récemment développés et deux plus largement connus ont été DrinC: indice de sécheresse de reconnaissance (RDI), indice de sécheresse de flux (SID), l'indice de précipitation normalisé (SPI) et les déciles de précipitation (PD).

Comme on peut facilement le comprendre, RDI, SPI et PD se réfèrent à la sécheresse météorologique et utilisent comme déterminant principal de la précipitation (et en outre de l'évapotranspiration potentielle pour le RDI uniquement). De plus, le RDI peut également être utilisé pour l'analyse de la sécheresse dans l'agriculture, car il peut décrire de manière adéquate bilan hydrique, et il est particulièrement utile lorsque les périodes de référence liées aux stades de développement des cultures sont sélectionnées (Tsakiris et al. 2010). D'autre part, l'IDS s'applique aux sécheresses hydrologiques et utilise le flux comme principal déterminant.

Outre les méthodes de calcul initialement proposées pour chaque indice, DrinC incorpore Méthodes alternatives permettant la comparaison des résultats entre les indices. En outre, cela donne une 3 principal avantage pour l'utilisateur, car il offre la possibilité de choisir parmi diverses options de ajuster les sorties à ses besoins particuliers.

Vous trouverez ci-dessous une brève présentation et les principales caractéristiques des indices de sécheresse. Calculé par DrinC.

III.1. 2.2. Cconception et mise en œuvre de logiciel

Interface et gestion des données de DrinC a été programmé dans Visual Basic 6. Au cours du développement de DrinC, l'accent a été mis sur le maintien d'une structure simple, complète et conviviale. L'organigramme du logiciel apparaît à la figure18 a une interface graphique complète et fonctionne sous MS Windows systèmes (Figure 19). Toutes les fonctions principales sont accessibles via le menu principal du logiciel, alors que certaines options supplémentaires sont disponibles pour des opérations spécifiques.

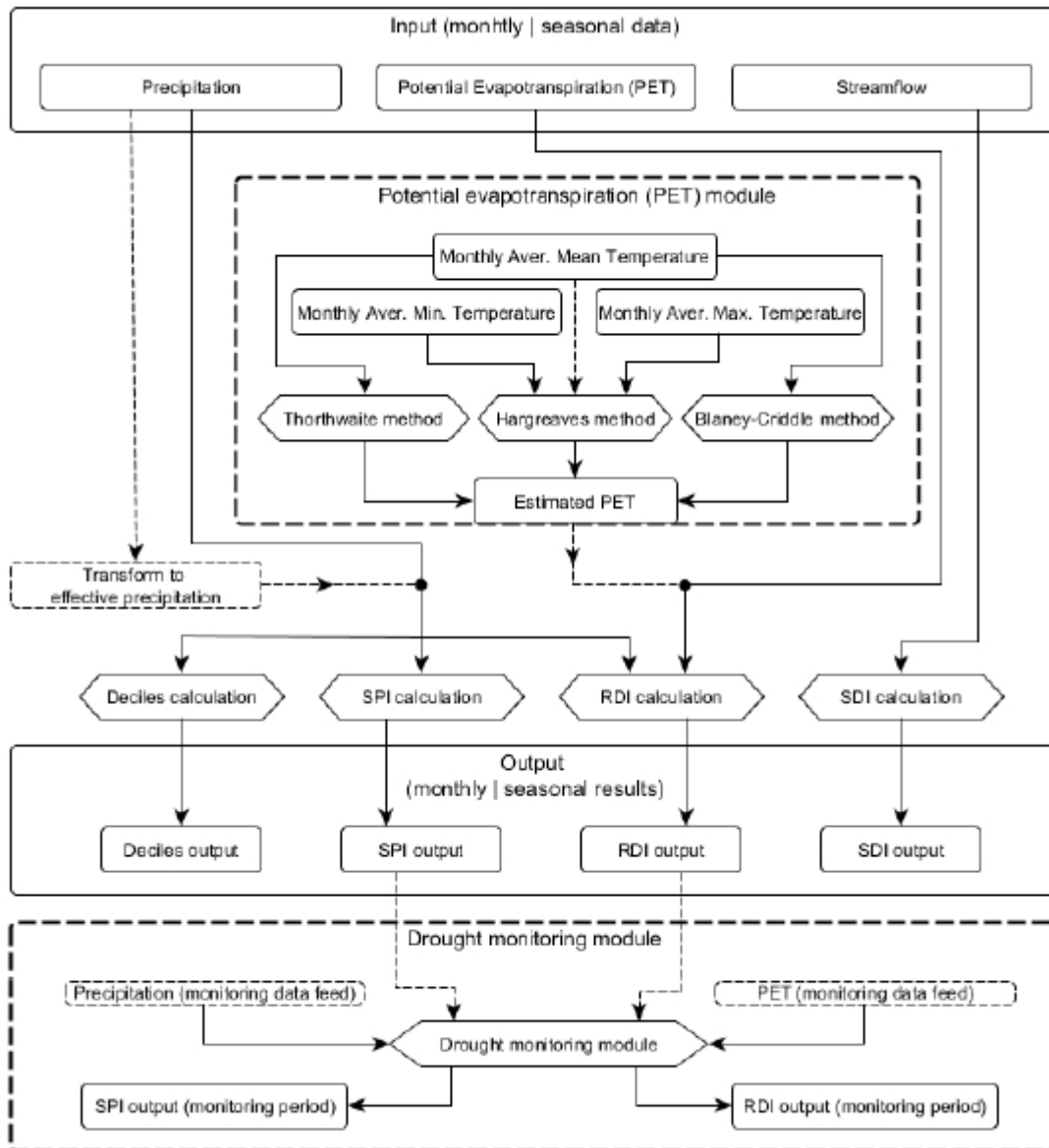


Figure 19 : L'organigramme du logiciel DrinC

Le calcul de chaque indice nécessite différentes données d'entrée, Les données peuvent être mensuel, annuel ou saisonnier et il existe une option d'utilisation réelle (jusqu'à 150 ans) ou synthétique (jusqu'à 1500 ans) série de données. Les données peuvent être importées directement à partir de fichiers MS Excel (.xls). Pour les données mensuelles le logiciel inspecte automatiquement la structure du fichier et identifie la position des données dans la feuille de calcul, tandis que pour les données annuelles ou saisonnières, l'utilisateur définit les cellules à partir desquelles la le chargement devrait commencer. En outre, il est possible de transformer les données de précipitation en données efficaces. données de précipitation, en utilisant soit la méthode du Bureau américain de récupération (Stamm, 1967), soit la méthode

F.A.O. méthode (Brouwer et Heibloem 1986). Les données importées sont chargées dans une grille où elles peuvent être examinées.

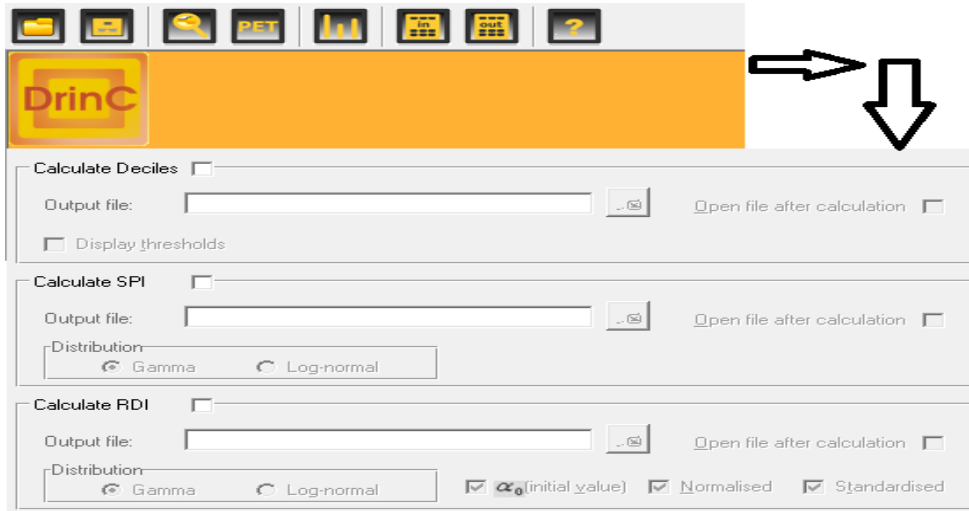


Figure. 20 : structure et fonctionnalité du logiciel DrinC

IV. Indices utilisés

Un des indices de sécheresse météorologique les plus simples est la méthode de Déciles qui a été introduit par Gibbs et Maher (1967). Les totaux des précipitations pour les trois mois précédents sont classés par rapport aux enregistrements climatologiques et si la somme tombe dans le décile le plus bas de la distribution des totaux sur 3 mois, la région est considérée comme étant en situation de sécheresse (Kininmonth et al. 2000). La sécheresse se termine lorsque les précipitations mesurées dans le passé mois place déjà le total des trois mois dans ou au-dessus du quatrième décile, ou le total des précipitations pour les trois derniers mois est dans ou au-dessus du huitième décile. L'avantage de la méthode des déciles est que sa facilité de calcul, mais sa simplicité peut conduire à des difficultés conceptuelles. Les déciles sont regroupés en cinq classes comme présenté dans le tableau 7.

Tableau. 07: classes et description de Déciles

Classes de Décile	Description
Décile (1-2)	Très élevée
Décile (3-4)	élevée
Décile (5-6)	Dans la norme
Décile (7-8)	faible
Décile (9-10)	Très faible

IV.1. Indice de sécheresse de reconnaissance (RDI)

L'indice de sécheresse de reconnaissance (RDI) a été mis au point pour aborder le déficit en eau de manière plus précise, comme une sorte d'équilibre entre entrée et sortie dans un système d'eau (Tsakiris et Vangelis 2005; Tsakiris et al. 2007c). Il est basé à la fois sur les précipitations cumulatives (P) et potentielles évapotranspiration (PET), qui sont un déterminant mesuré (P) et un déterminant calculé (PET). La valeur initiale (α_k) de la RDI est calculée pour la i -ième année sur une base de temps de k (mois) comme suit:

$$\alpha_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, \quad i = 1(1)N \quad \text{and} \quad j = 1(1)k$$

P_{ij} et PET_{ij} sont les précipitations et l'évapotranspiration potentielle du j mois de la i -ième année et N est le nombre total d'années des données disponibles. Les valeurs de α_k suivent de manière satisfaisante les distributions log-normales et gamma dans une large gamme de lieux et différentes échelles de temps dans lesquelles ils ont été testés (Tigkas 2008; Tsakiris et al. 2008). En supposant que la distribution log-normale est appliquée, l'équation suivante peut être utilisée pour le calcul de RDIst:

$$RDI_{st}^{(i)} = \frac{y^{(i)} - \bar{y}}{\hat{\sigma}_y}$$

dans laquelle $y^{(i)}$ est le $\ln((i) k a)$, y est sa moyenne arithmétique et $\hat{\sigma}_y$ son écart type. Si la distribution gamma est appliquée, le RDIst peut être calculé en ajustant le gamma 4 fonction de densité de probabilité (pdf) à la distribution de fréquence donnée de α_k (Tsakiris et al. 2008; Tigkas 2008). Pour de courtes périodes de référence (par exemple mensuelle ou 3 mois) pouvant inclure zéro valeurs cumulées de précipitations de la période, le RDIst peut être calculé sur la base d'une fonction de distribution cumulative composite, y compris la probabilité de précipitation nulle et la probabilité cumulée gamma. Les valeurs positives de RDIst indiquent les périodes humides, tandis que les valeurs négatives indiquent les périodes sèches par rapport aux conditions normales de la région. La sévérité de la sécheresse peut être classée en légère, classes modérées, sévères et extrêmes, avec les limites correspondantes de RDIst (-0,5 à -1,0), (-1,0 à -1,5), (-1,5 à -2,0) et (<-2,0), respectivement.

IV.2. Indice de précipitation normalisé (SPI)

Pour le calcul du SPI, l'enregistrement des précipitations à long terme pour une période donnée est ajusté à distribution de probabilité, qui est ensuite transformée en une distribution normale de sorte que le SPI moyen pour l'emplacement et la période souhaitée est zéro (McKee et al. 1993; Edwards et McKee 1997). Positif Les valeurs de SPI indiquent des précipitations supérieures à la médiane et les valeurs négatives, inférieures à la médiane. précipitation. Le SPI étant normalisé, les climats plus humides et plus secs peuvent être représentés de la même manière Thom (1958) a trouvé que la distribution gamma était bien adaptée au temps climatologique des précipitations. séries. La distribution gamma est définie par sa fonction de fréquence ou de densité de probabilité:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^a \Gamma(a)} x^{a-1} e^{-x/\beta}, \quad \text{for } x > 0$$

dans lesquels α et β sont respectivement les paramètres de forme et d'échelle, x est la quantité de précipitation et $\Gamma(\alpha)$ est la fonction gamma. Les paramètres α et β du gamma pdf sont estimés pour chaque station et pour chaque échelle d'intérêt (1, 3, 6, 9, 12 mois, etc.). Estimation du maximum de vraisemblance de α et β sont:

$$a = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right), \quad \beta = \frac{\bar{x}}{a}, \quad \text{where } A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n}$$

Et n est le nombre d'observations. Les paramètres résultants sont ensuite utilisés pour trouver la probabilité cumulée d'une observation événement de précipitation pour le mois et l'échelle de temps donnés pour le lieu en question. Depuis le gamma fonction n'est pas définie pour $x = 0$ et une distribution de précipitation peut contenir des zéros, la probabilité devient:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Dans lequel q est la probabilité de précipitation nulle et $G(x)$ est la probabilité cumulée de fonction gamma incomplète. Si m est le nombre de zéros dans une série chronologique de précipitations, alors q peut être estimé par m / n . La probabilité cumulée $H(x)$, est ensuite transformée à la normal, la variable aléatoire z avec un zéro moyen et une variance de 1 (Abramowitz et Stegun 1965), qui est la valeur du SPI. Selon le SPI, un événement de

sécheresse se produit lorsque l'indice atteint en permanence une intensité de -1,0 ou moins. L'événement se termine lorsque le SPI devient positif. Chaque événement de sécheresse a donc une durée définie par son début et sa fin, et intensité pour chaque mois que l'événement se poursuit. L'ampleur de la sécheresse est la somme positive de l'IPS pour chaque mois pendant la sécheresse (Hayes et al. 2007). Généralement, les précipitations mensuelles ne sont pas normalement distribuées, une transformation est donc effectuée de telle sorte que les valeurs SPI dérivées suivent une distribution normale. Le SPI est le numéro de standard déviations que la valeur observée s'écarterait de la moyenne à long terme, pour une valeur normale variable aléatoire distribuée. Une interprétation des valeurs résultantes est présentée dans le tableau 8. (Tsakiris et Vangelis 2004).

Tableau.08 : Classification de la sécheresse selon l'indice SPI et RDIST

<i>SPI</i>	<i>CLASSIFICATION</i>
2>	Extrêmement humide
1.5 à 1.99	Sévèrement humide
1.0 à 1.49	Modérément humide
-0.99 à +0.99	Proche de la normal
-1.0 à -1.49	Modérément sèche
-1.5 à -1.99	Sévèrement sèche
-2>	Extrêmement sèche

V. Méthodes de géostatistiques

La géostatistique est méthode d'interpolation relativement récente pour étudier la variabilité spatiale .elle est basée su la théorie des variable régionalisée. (Cressie, 1963). Un certain nombre de technologies de l'information, tels que les systèmes d'information géographique (SIG), les systèmes de positionnement global (GPS), et la télédétection, associés aux analyses au laboratoire, permettent de cartographier les paramètres des rigoureusement. Le couplage des techniques de SIG et la géostatistique offrent des outils puissant et précis pour la cartographie et l'analyse spatiale des propriétés des leurs indicateurs. (Escadafal et al, 1988 et 1991; Merzouk et al., 1990; Chikhaoui et al., 2004; Bannari et al., 2008).

Quatre techniques d'interpolation sont effectuées : la méthode de pondération inverse de distance (IDW), méthode des réseaux radiaux de la fonction de base (RBF), le krigeage universel(KU) et le krigeage ordinaire (KO). Le but de notre recherche vise une étude et une analyse comparative par la quantification de l'erreur moyenne d'estimation afin de faire la mise

au point sur la méthode d'interpolation spatiale qui semble la plus adaptée et la plus appropriée pour caractériser et cartographier la distribution spatiale.

Tous les traitements des données ont été effectués à l'aide d'ArcGIS, avec les extensions d'analyse spatiale. L'extension « analyse géostatistique » du logiciel ArcGis possède un module d'analyse exploratoire des données spatiales qui permet de visualiser et d'analyser les données selon des techniques statistiques. Ce module offre une large gamme de possibilités permettant la détection de tendances ou de dérives dans les données, le repérage des valeurs anormales et l'étude des corrélations spatiales de ces données (Johnston et al.,2001)

V. 1.interpolation par krigeage

La géostatistique est une science de plus en plus utilisée pour cartographier les variables régionalisées. Une des méthodes géostatistiques est le krigeage, qui a pour avantage de restituer la continuité spatiale du variable à référence spatiale dans l'expression cartographique. Selon l'algorithme géostatistique, le krigeage, la règle de pondération et donc la carte qui en résulte sont directement déterminées par le comportement spatial des données de l'élément à analysé. L'analyse variographique est l'étape préalable au krigeage, elle est menée afin d'estimer la fonction de la continuité spatiale de la variable régionalisée (Thomas, 2003). Le variogramme peut être interprété en terme de continuité ou de corrélation spatiale si on l'inverse graphiquement pour obtenir une fonction décroissante : plus la distance entre deux mesures est importante moins les mesures sont corrélées. Le variogramme est la clé de voute de l'analyse spatiale par Krigeage, il permet de détecter les points d'anomalie par leur position par rapport aux autres. Les points isolés sont à supprimer pour avoir une bonne corrélation spatiale. Une fois que le variogramme expérimental établi, il faut lui caler un modèle qui lui convient le mieux, il n'est pas toujours facile de trouver le modèle théorique qui lui correspond.(<https://www.sigterritoires.fr>).

VI.Indice d'aridité (IA)

Un indice d'aridité (IA) est un indicateur numérique du degré de sécheresse du climat à un endroit donné. Un certain nombre d'indices aridité ont été proposés ,ces indicateurs permettent d'identifier, de localiser ou de délimiter les régions qui souffrent d'un déficit d'eau disponible, une condition qui peut affecter gravement l'efficacité de l'utilisation des terres pour des activités telles que l'agriculture ou l'élevage.

Caractéristiques des stations étudiées. Les précipitations et l'évapotranspiration potentielle ont été utilisées pour classer l'aridité bioclimatique d'une manière globalement comparable. En

mathématique En 1979, l'UNESCO utilisait un système de classification aridité / humidité basé sur les précipitations annuelle (P) divisée par l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne (PET). Selon l'UNESCO, l'évapotranspiration potentielle a été calculée en fonction de la Formule de Penman. Sur la base de cette classification, le tableau 09 1 montre le type de climat Condition introduite pour chaque station expérimentale.

Tableau.09 :Classification de l'indice d'aridité AI

Classification	Indice d'aridité
Hyperaride	$AI < 0,05$
Aride	$0,05 < IA < 0,20$
Semi-arides	$0,20 < IA < 0,50$
Subhumides sèches	$0,50 < IA < 0,65$

Conclusion

Le suivi des sécheresses fait fréquemment appel à des indicateurs ou des indices qui varient selon la région et la saison. Comme d'autres aléas, la sécheresse peut être décrite par son intensité, son emplacement, sa durée et son moment d'apparition.

Les indices de Sécheresse sont généralement utilisés pour évaluer la gravité de la sécheresse de manière significative. DrinC est un logiciel développé pour fournir une interface simple, bien qu'adaptable, pour le calcul des performances indices de sécheresse.

La géostatistique a été utilisée comme une méthode d'interpolation relativement récente pour étudier la variabilité spatiale. Elle est basée sur la théorie des variables régionalisées. Tous les traitements des données ont été effectués à l'aide d'ArcGIS, avec les extensions d'analyse spatiale qui possède un module d'analyse exploratoire des données spatiales. Ce module offre une large gamme de possibilités permettant la détection de tendances ou de dérives dans les données, le repérage des valeurs anormales et l'étude des corrélations spatiales de ces données. L'utilisation du krigeage comme outil d'interpolation, nous a permis d'élaborer des cartes des paramètres climatiques et des indices de sécheresse.

3^{ème} CHAPITRE

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



Introduction

Les résultats sont analysés de façon à faire apparaître les différents indices de sécheresse, les méthodes géostatistiques ont été utilisées pour réaliser la régionalisation des paramètres climatiques (précipitation, température, évapotranspiration...ect) et faire des cartes des indices de sécheresse.

I. Régionalisation des paramètres climatiques

Le principe des études de régionalisation est d'utiliser les données des stations existées pour développer des méthodes applicables aux régions qui ne possèdent pas des stations de mesure. Ces études couvrent un grand nombre de domaines d'application: régionalisation des signatures hydrologiques (débit moyen interannuel, régime, courbe des débits classés...), des étiages, des crues, de l'hydrogramme... Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'estimation des paramètres climatiques et indices de sécheresse calculés sur des zones non équipés par des stations météorologiques.

I.1. Cartographie des précipitations

Les cartes de la figure 21 montrent les valeurs des précipitations dans la zone d'étude au cours de 30 ans 1985 à 2015. La précipitation pour la première décennie (1985-1995), montre que les valeurs les plus élevées sont concentrées à Sétif et à Tiaret avec 35,73mm à 39,98 mm respectivement, des faibles précipitations sont localisées dans la partie Sud-ouest avec des valeurs moindres de 27,21 mm.

La carte de la deuxième décennie 1995-2005, montre une augmentation dans la région de Sétif par rapport au décennie précédente (44,9 mm), des faibles précipitations localisés au Sud-ouest et à l'extrême centre (19,81 mm à 26,10 mm)

La carte ainsi obtenue de la troisième décennie de 2005-2015, montre une régression des fortes précipitations qui sont concentrées seulement dans la région de Sétif 56,56. des valeurs moyennes couvrent la majeure partie de la carte plus précisément à l'extrême Est, au centre et à l'ouest Et , les faibles précipitations sont remarquables dans cette décennie par rapport aux décennies précédentes occupant une partie du Sud et Sud-ouest , on peut expliquer ce phénomène par une tendance vers la sécheresse dans ces zones.

La carte des précipitations moyennes de la période 1985 à 2015 présente des valeurs comprises entre 21,24 et 50,40 mm et que les valeurs les plus élevées ont été concentrées dans les régions de Sétif, Tissemsilt et Tiaret et les faibles valeurs couvrent la partie sud et sud ouest.

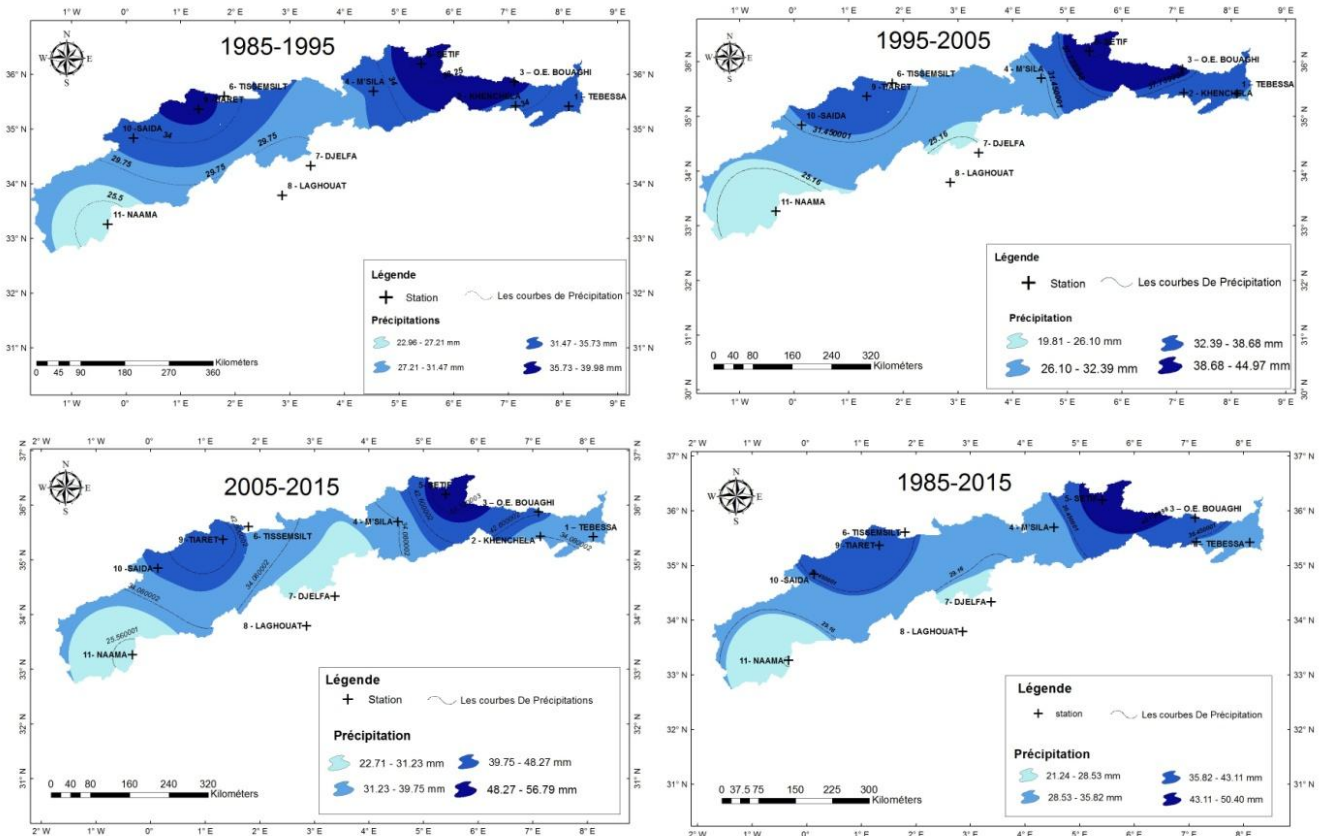


Figure. 21 : Cartes des précipitations moyenne de la période 1985 à2015 et des trois décennies

I.2. Cartographie des températures

Ces cartes qui concernent les températures des trois décennies de la période de 1985 à 2015 et une carte des températures moyenne de toute la période. La carte de la première décennie montre des températures faibles par rapport aux autres localisés à l'extrême Est, des températures moyenne occupant la majeure partie, c'est la partie du centre et de l'ouest.les température les plus élevés se situes au sud et occupe des partie de la région de Djelfa, Laghouat et El-Bayad.la carte de la deuxième décennie est presque identique avec celle de la première décennie où il n'y a pas des changements remarquables. On ce qui concerne la carte de la troisième décennie, elle nous a fait ressortir des températures moyennes couvre toute la zone d'étude.

La carte des températures moyennes de la période 1985 à 2015, se caractérise par 3 plages de températures .les faibles températures recouvre la partie extrême Est, alors que les températures moyennement faible occupant la partie extrême ouest et une partie du centre dans la région de M'sila, la partie centre de la carte qui englobe des parties des wilaya de Djelfa, Laghouat, Tiaret et Tisssilet présente des températures plus élevées par rapport aux autres zones.

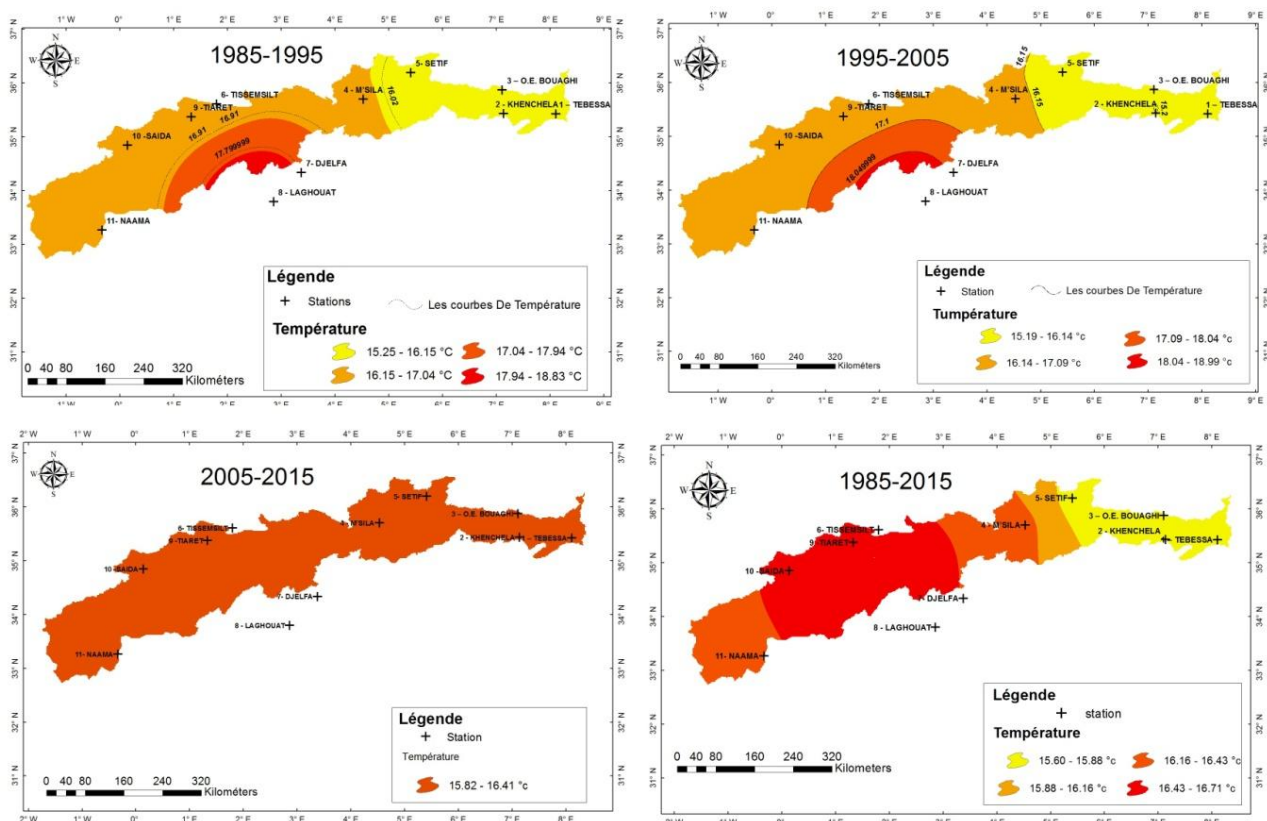


Figure.22 : Cartes des températures moyenne de la période 1985 à2015 et des trois décennies

I.3. Cartographie de l'Évapotranspiration potentiel

La figure 23 fait ressortir quatre cartes de l'évapotranspiration potentielle, une carte de toute la période et les autres pour des décennies différentes. Les valeurs les plus élevées de l'ETP de la première décennie se trouvant à l'extrême Ouest et au sud dans la région de Djelfa et Laghouat, des valeurs moins élevées occupant le reste de la partie centre et une petite partie de l'extrême Est.les reste de la région présente des faible valeurs de l'ETP dans la partie Nord-est qui occupe la zone de sétifn khanchela et une partie de Msila. La carte de la deuxième décennie montre une augmentation remarquable de l'ETP qui occupe la zone de sud-Ouest et une grande partie du centre, le reste de la carte ne présente aucun changement par rapport à la première carte. Des valeurs de l'ETP élevées occupant la majeure partie de la carte à l'exception de la région de Sétif et ces zones limitrophe qui présentent des faible ETP .

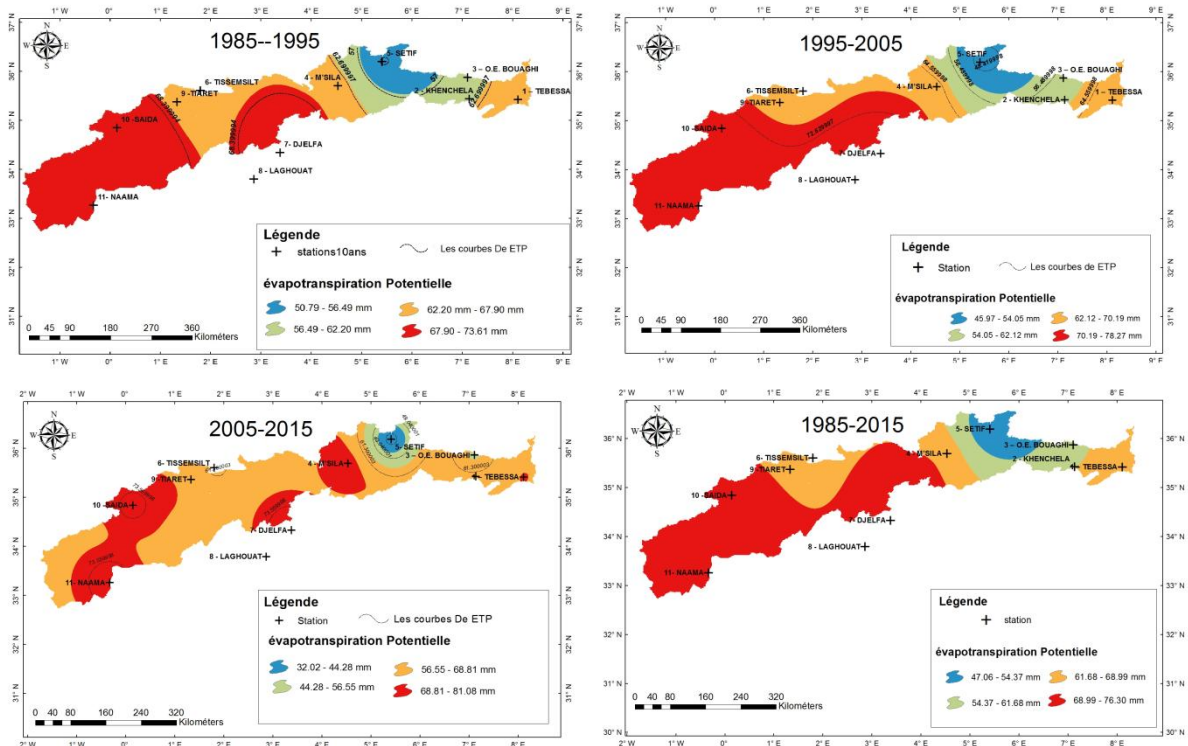


Figure 23 : Cartes de l'évapotranspiration moyenne de la période 1985 à 2015 et des trois décennies

I.3. Cartographie de l'indice de l'aridité

Les précipitations et l'évapotranspiration potentielle ont été utilisées pour classer l'aridité bioclimatique d'une manière globalement comparable. En mathématique En 1979, l'UNESCO utilisait un système de classification aridité / humidité basé sur les précipitations annuelle (P) divisée par l'évapotranspiration potentielle annuelle moyenne (ETP). Selon l'UNESCO, l'évapotranspiration potentielle a été calculée en fonction de la Formule de Thornthwaite. Sur la base de cette classification, le tableau 10 montre le type de climat condition introduite pour chaque station expérimentale.

En remarque dans la carte de la figure 25 que la pluparts des stations montre des zones semi-aride (Tebessa–Msila–Djelfa–Laghouat–Tiaret–Saida–Naama),et seulement 3 stations présentent des zones sub-humide (Kenchela–O.E.Bouaghi–Tissemsilt).la zone humide est représenté dans carte par station de Setif.

Tableau 10 : Résultats de la classification de L'indice d'aridité

Station	l'altitude	longitude	altitude	ETP (mm)	P (mm)	Ai	zone
1 - TEBESSA	35.417	8.11	945	69.08	33.91	0.49	semi-aride
2 KHENCHELA	35.427	7.14	1087	62.78	33.59	0.53	Sub-humide
3-O.E.BOUAGHI	35.868	7.11	852	54.52	44.36	0.81	Sub-humide
4 - M'SILA	35.694	4.53	558	73.53	30.90	0.42	semi-aride
5- SETIF	36.191	5.41	991	32.13	53.11	1.65	humide
6- TISSEMSILT	35.603	1.8	863	60.09	36.93	0.61	Sub-humide
7- DJELFA	34.33	3.38		79.56	28.25	0.35	semi-aride
8 - LAGHOUAT	33.79	2.86	865	72.92	17.44	0.23	semi-aride
9 -TIARET	35.368	1.33	740	68.31	43.06	0.63	semi-aride
10 -SAIDA	34.84	0.14	777	77.52	37.50	0.48	semi-aride
11- NAAMA	33.26	-0.33	1135	80.61	19.61	0.24	semi-aride

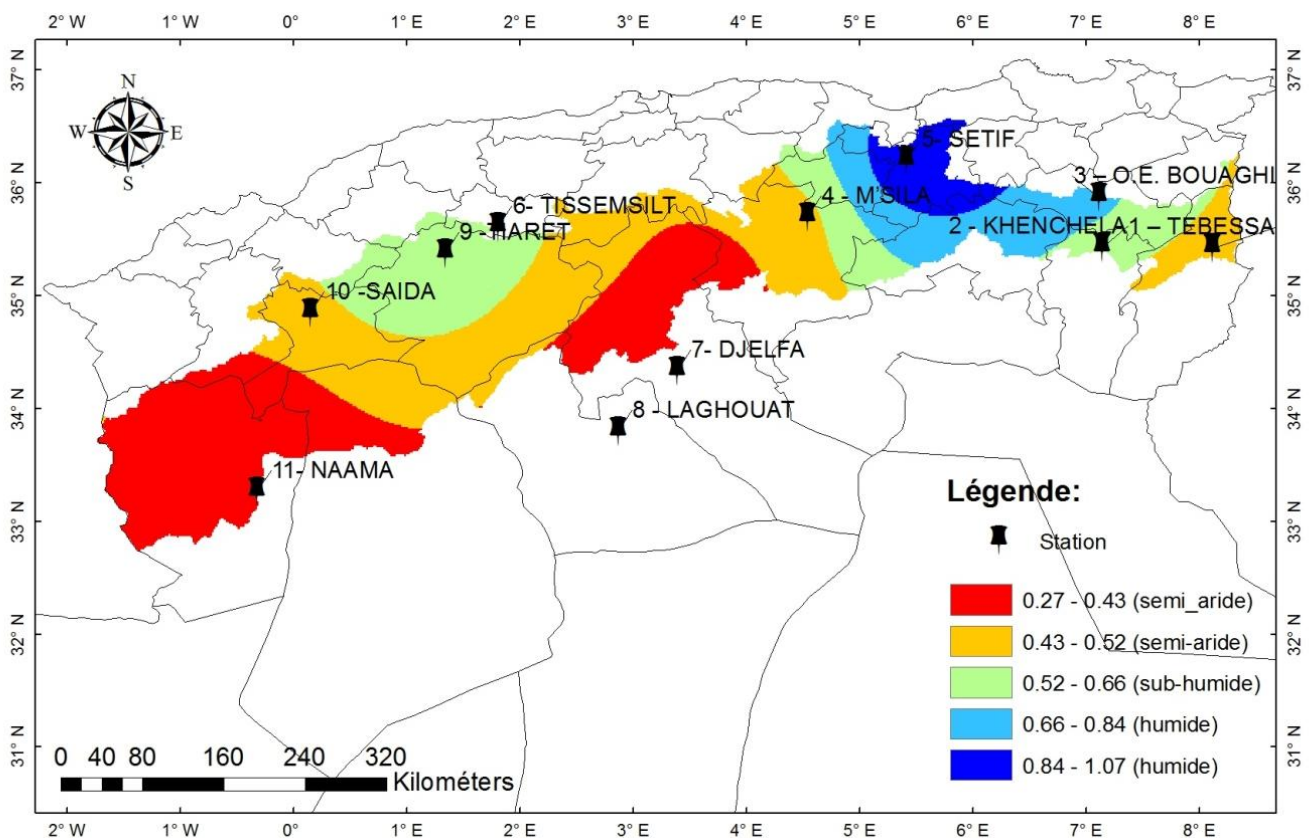


Figure.25 :Carte de répartition de l'indice d'aridité AI

II. Interprétation des résultats des indices de sécheresse

II.1. Déciles

Le tableau 11 montre la classification de la sécheresse de chaque année pour la série complète, les caractérisées sont par des précipitations très inférieure à la normale (très faible et faible) ou des précipitations nettement supérieures à la normale (très élevé et élevé). Selon la méthode des déciles, on trouve que 13 ans ont des valeurs inférieure à la normale (1985-1986,1987-1990,1993-1996,1998-1999,2000-2003,2005-2006,20013-2014).

Tableau.11 : les nombres de répétition pour chaque classe

Années	très faibles	Faible	dans la norme	élevé	très élevé
1985 - 1986	1	4	3	3	0
1986 - 1987	1	2	3	4	1
1987 - 1988	2	5	4	0	0
1988 - 1989	0	7	4	0	0
1989 - 1990	3	3	2	2	1
1990 - 1991	0	2	1	4	4
1991 - 1992	0	0	0	5	6
1992 - 1993	1	1	3	1	5
1993 - 1994	8	3	0	0	0
1994 - 1995	9	1	0	1	0
1995 - 1996	0	8	3	0	0
1996 - 1997	0	0	0	2	9
1997 - 1998	0	3	5	2	1
1998 - 1999	5	1	3	2	0
1999 - 2000	2	4	3	2	0
2000 - 2001	11	0	0	0	0
2001 - 2002	8	3	0	0	0
2002 - 2003	8	3	0	0	0
2003 - 2004	0	1	0	1	9
2004 - 2005	0	0	3	5	3
2005 - 2006	6	1	3	1	0
2006 - 2007	0	4	4	2	1
2007 - 2008	0	2	5	3	1
2008 - 2009	0	0	5	3	3
2009 - 2010	0	0	0	4	7
2010 - 2011	0	1	5	2	3
2011 - 2012	0	0	1	5	5
2012 - 2013	0	1	2	5	3
2013 - 2014	1	5	0	1	4
2014 - 2015	0	1	4	6	0

II.2. Analyse des indices de sécheresse

II.2.1. Indices de sécheresse RDI

Le RDI est utilisé pour décrire la sécheresse et les caractéristiques statistiques: les valeurs du RDI positive correspondent aux périodes humides, tandis que les valeurs négatives correspondent aux périodes de sécheresse par rapport aux conditions naturelles de la région. La gravité des sécheresses augmente lorsque les valeurs de RDI sont très négatives et que la gravité de la sécheresse peut être classée.

Tableau12 : les nombres répéter pour chaque classe de RDI au cours de la série de 30 ans

Classifications	djelfa	khenchela	laghouat	Msila	naama	O.bouaghi	saida	setif	tebessa	tessemsilt	tiaret
Extrêmement humide	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0
Sévèrement humide	2	2	0	1	2	3	1	1	2	2	1
Modérément humide	2	4	5	3	4	2	7	5	2	3	4
Proche de la normale	20	18	21	20	11	18	15	17	19	20	18
Modérément sèche	2	2	0	2	0	4	5	3	1	1	3
Sévèrement sèche	2	2	2	1	0	1	0	2	3	1	2
Extrêmement sèche	1	0	1	2	2	0	1	1	0	2	1

Les résultats obtenus ont montré que dans Toutes les stations, les années de 1997-1998 jusqu'à 2002-2003 et 1997-1998 ont présentées des périodes de sécheresses. L'augmentation de la sécheresse a une tendance de l'Ouest vers l'Est.

La quantification des années de sécheresse peut être faite de manière détaillée dans chaque station de la zone d'étude comme suit:

❖ station de Djelfa:

Les années de sécheresse à station de Djelfa comprise entre 1998 et 2003 où les valeurs sont inférieure à - 1,23 .l'année 1999-2000 est la plus sécheresse, avec une valeur de l'indice RDI de l'ordre de -2,19.

❖ station de Khenchela :

les années de sécheresse qui ont enregistré des chiffres significatifs sont les suivantes: (1993-1994) (1994-1995) (2000-2001) (2001-2002). La valeur la plus élevée de sécheresse a été enregistrée en -1,65 en (1994-1995) et La plus basse valeur est -1.38.

❖ station Laghouat :

La sécheresse commence dans cette station au début de l'année (1998-1999). deux autres années de sécheresse ont été enregistrés de sécheresse entre (1998-1999) et (2000-2001).L'année (2000-2001) est considérée comme l'une des années les plus sèches avec une valeur RDI -3.65.

❖ station Msila:

Les années de sécheresse sont réparties sur l'ensemble de la période d'étude avec des sécheresses variables, les années les plus sécheresses sont (2000- 2001) où l'indice de sécheresse RDI était de -2,26 avec une classification très sèche, suivie des années de sécheresse suivantes (1993-1994) (1995-1994) (2000 -2001)(2002-2003).

❖ station de Naama :

Les résultats de RDI pour la station de Naama ont montrés que les années de sécheresse avaient commencé en (1985-1986) et en (2000-2002) respectivement, avec un maximum de RDI de l'ordre de -2,39 en (2000-2001).

❖ station d'O.E.Bouaghi :

La sécheresse s'est produite à cette station au cours des années successives (1989-1990) et (1993-1994)(2001-2002) La valeur du RDI était de -1,45 en (2001-2002).

❖ station de Saida :

L'année (2000-2001) c'est l'année la plus sèche de cette station estimée à -2,55 et les autres années de sécheresse sont :(1987-1988) et (1994-1995) (1998-1999) (2000-2001)(2001-2002)(2002-2003).

❖ Station Setif:

La RDI a révélé des années sèches dans cette station: (1987-1988) (1989-1990) (1993-1994)(1994-1995) (2000-2001)(2001-2002) et l'année La plus sèche est (1989-1990) avec une valeur de -2.06.

❖ station de Tabessa:

La valeur la plus élevée de sécheresse en (2001-2002) était estimée à -1,70 et a également été enregistrée pendant les années suivantes (1993-1994)(1994-1995) et (2000-2001)(2001-2002).

❖ station de Tiaret :

La RDI a révélé des années sèches dans cette station: (1993-1994)(1994-1995) (1998-1999) et(2000-2001) (2002-2003) (2005-2006)et la valeur la plus élevée était estimée à -2,38 en (2000-2001).

❖ station de Tessemsilt :

Cette station a enregistré des années de sécheresse plus faibles depuis trois ans (1994-1995)(1998-1999)(2002-2003). La valeur la plus élevée du RDI était estimée à -2,00 en (2002-2003).

II.2.1.1. Analyse de la sécheresse à l'aide α_{12}

Grâce aux résultats de α_{12} pour la série annuelle de précipitations (P) et d'évapotranspiration (ETP) Le niveau $ETP / P = 0.20$ peut être utilisé, ce qui constitue la limite entre les conditions subhumides et semi-arides. (P10, 2008, G, Tskiris)_Si une année donnée est inférieure de α_{12} à l'indice de sécheresse calculé par UNEP(1992), il est signalé que la région connaît une sécheresse au cours de cette année

Sur cette base, et à travers les résultats de α_{12} , on peut considérer que toutes les stations durant toute la période de 1985-2015 étaient inférieures à 20,0. L'étude montre également α (α_{12}), dans laquelle la ligne verte se réfère aux valeurs annuelles de la moyenne de α_{12} , qui est égale à l'indice de sécheresse pour chaque région.

Les résultats montrent que la moyenne arithmétique la plus élevée est de l'ordre de 1,60 .les plus faibles valeurs sont celle de à Naama avec une valeur de 0.23 et à la station de Laghouat de l'ordre de 0,25. Les résultats du Calcul des précipitations et de l'évaporation-transpirations par α_{12} , signifient que toute augmentation de la température sera suivie d'une augmentation de l'ETP.

les figures 30 ,31 et 32 présentent une comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} de chaque station, il s'est avéré que les graphiques de α_{12} ,6 stations ont la moyenne arithmétique varié entre (0.20-0.50) ce qui traduit par une classe de semi-aride, les valeurs des 3 stations varié entre (0.50-0.65), ils sont donc dans la classe subhumide. Deux stations ont été classés dans la classe humide a cause des valeurs qui dépassent 0.65.

- (0.20-0.50) : Djelfa –Laghouat-Msila-Naama-Saida-Tebessa
- (0.50-0.65) ; Khenchela-Tiaret -Tessemsilt.
- (>65) : O.E.Bouaghi-Setif.

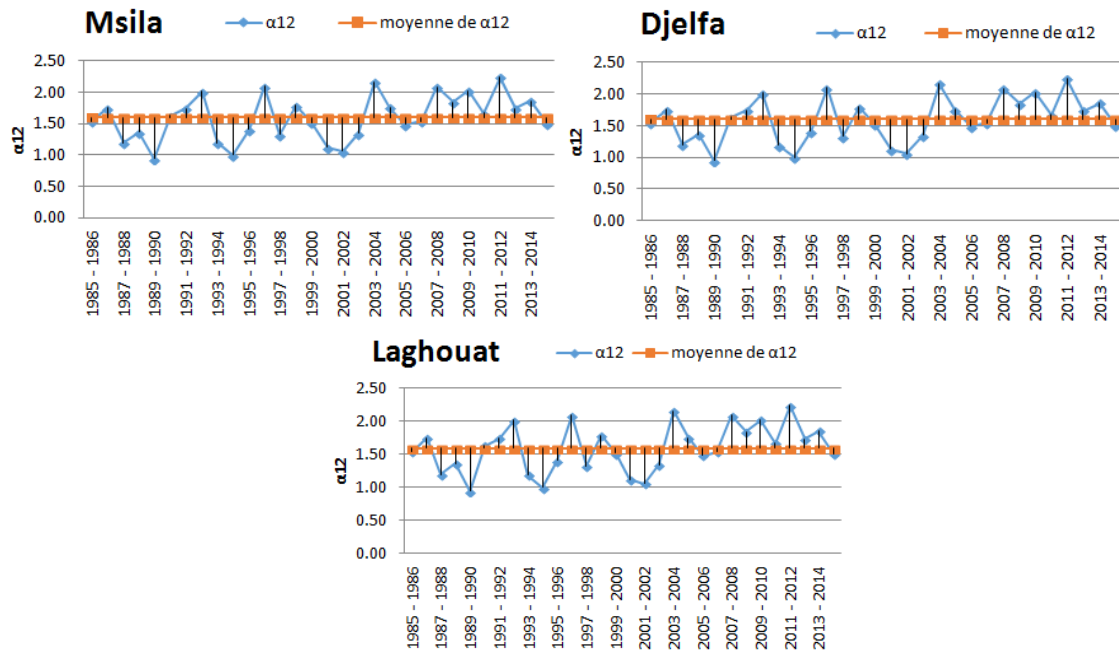


Figure. 26 : Comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} dans les stations des hauts plateaux centre

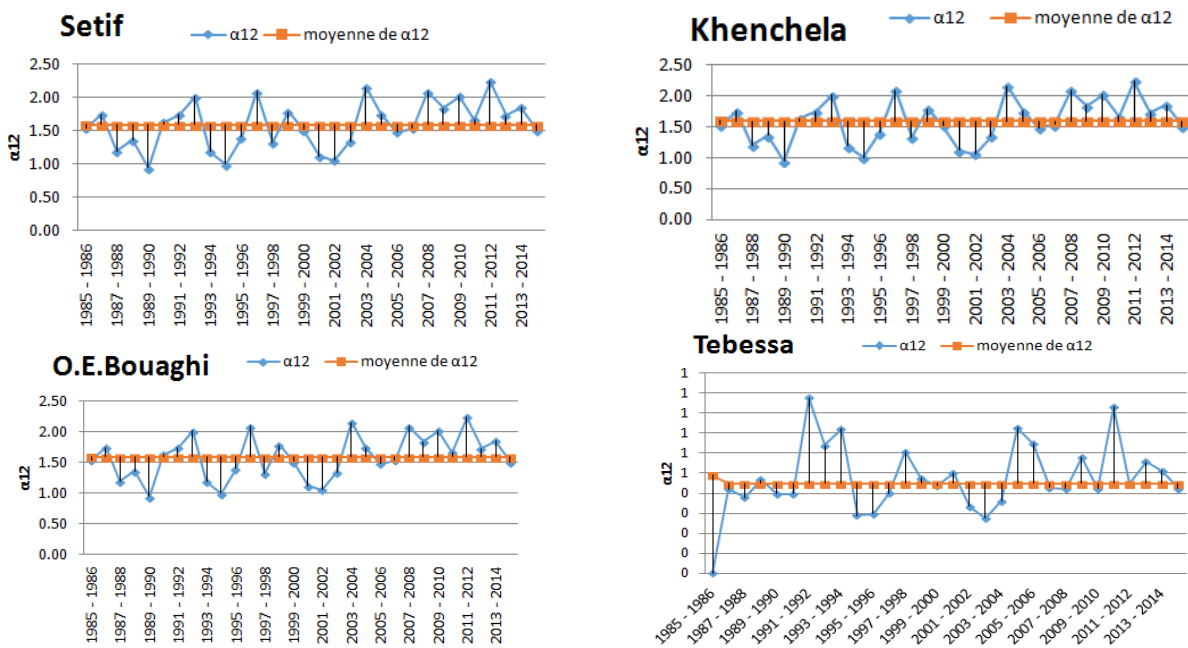


Figure. 27 : Comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} dans les stations des hauts plateaux Est

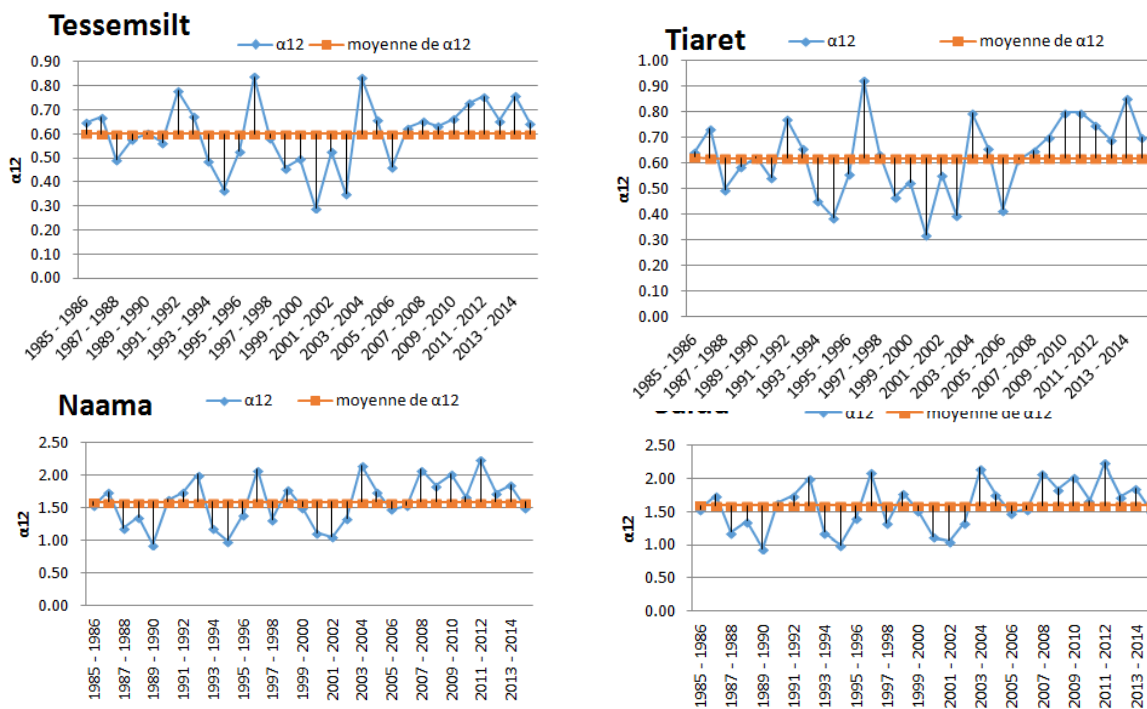


Figure 28 : Comparaison entre α_{12} et la moyenne α_{12} dans les stations des hauts plateaux Ouest

II.2.2. Indice de sécheresse SPI

Le SPI est un indice permettant de mesurer la sécheresse météorologique. Il s'agit d'un indice de probabilité qui repose seulement sur les précipitations. Les probabilités sont standardisées de sorte qu'un SPI de 0 indique une quantité de précipitation médiane (par rapport à une climatologie moyenne de référence, calculée sur 30 ans). L'indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides (Mc Kee et al., 1993).

Les principaux avantages du SPI sont les suivants :

- Il requiert seulement les précipitations mensuelles;
- Il peut-être comparé pour des régions aux climats différents;
- La normalisation de l'indice permet de déterminer la rareté d'une sécheresse.

L'utilisation de cet indice est en outre recommandée par l'Organisation Météorologique Mondiale.

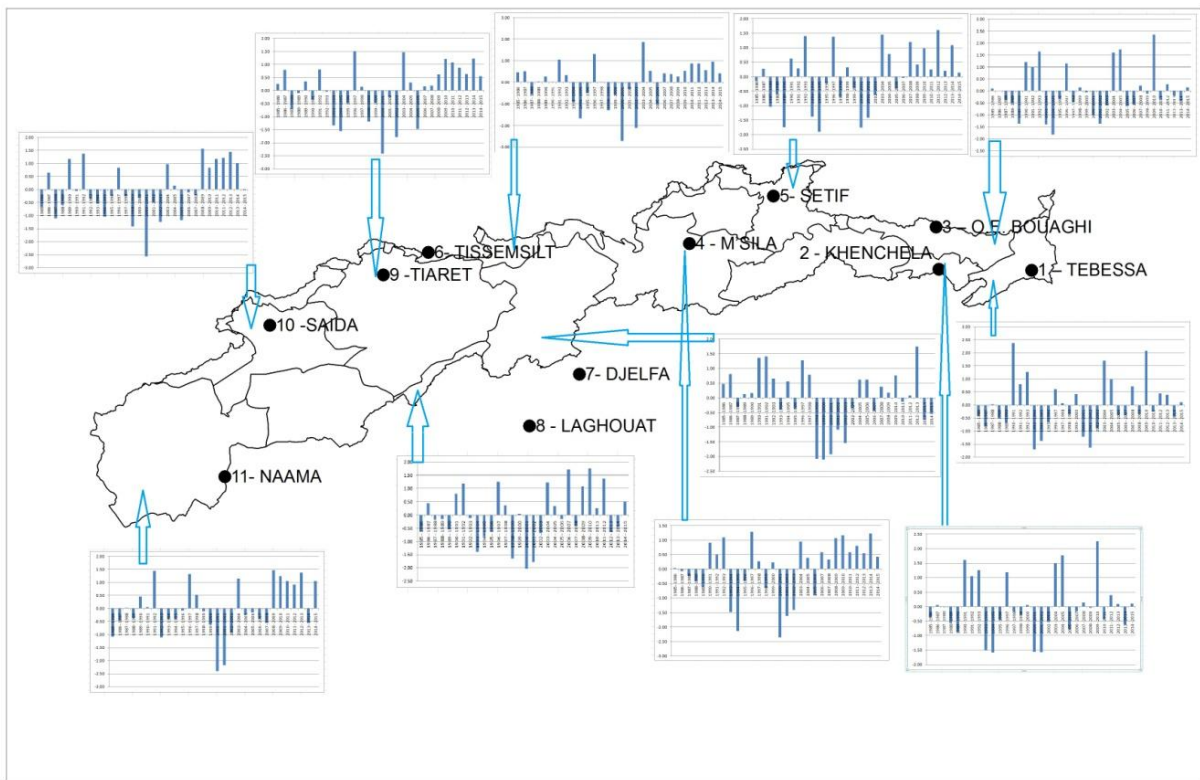


Figure 29: les résultats de SPI pour chaque station

En analysant les résultats de RDIst et de SPI, nous remarquons que les résultats sont très proches en termes de classification et que RDI montre des résultats plus précis. La figure 30 montre que les résultats sont presque identiques.

Nous avons établi une étude statistique sur les résultats de RDI et de SPI sur les nombres des répétitions pour chaque classification. Nous constatons que les résultats de l'analyse sont également identiques et nous concluons que la relation est forte entre les deux indices.

Tableau 13 : Nombres répéter pour chaque classe SPI au cours de la série de 30 ans

Classifications	djelfa	Khenchela	laghouat	Msila	naama	O.bouaghi	saida	setif	tebessa	tessemsilt	tiaret
Extrêmement humide	0	1	0	0	0	1	0	0	2	0	0
Sévèrement humide	2	2	0	1	2	3	1	1	2	2	1
Modérément humide	2	4	5	3	4	2	7	5	2	3	4
Proche de la normale	20	18	21	20	11	18	15	17	19	20	18
Modérément sèche	2	2	0	2	0	4	5	3	1	1	3
Sévèrement sèche	2	2	2	1	0	1	0	2	3	1	2
Extrêmement sèche	1	0	1	2	2	0	1	1	0	2	1

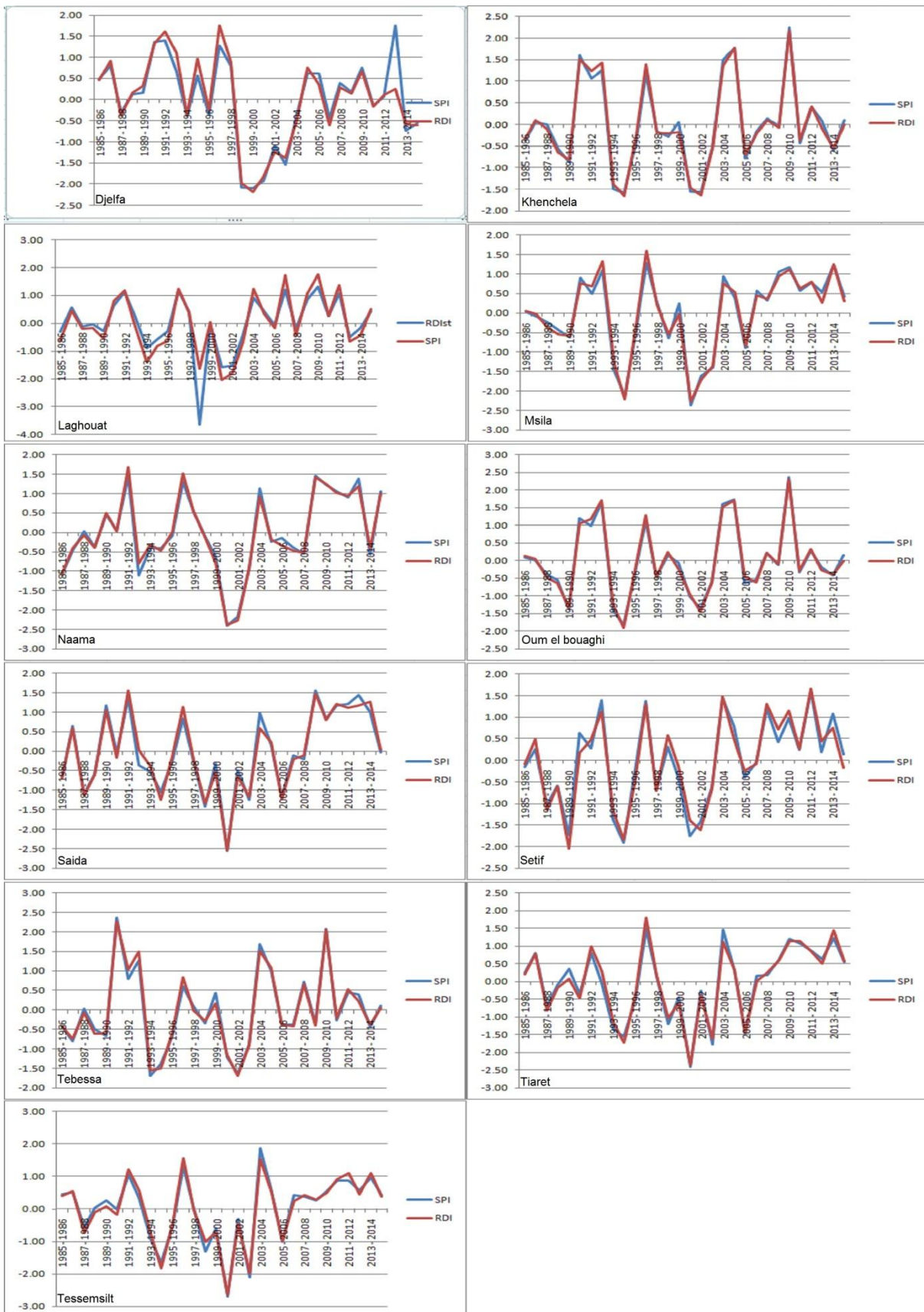


Figure 30: les résultats de RDI et SPI dans la série de 30 ans pour chaque station

III. Corrélation entre SPI et RDI

La figure 31 représente le diagramme de dispersion de l'indice SPI par rapport à l'indice RDI pour la station de Djelfa. En règle générale, les résultats du SPI et du RDI, tracés à différentes échelles de temps, indiquent que les différences entre les indices du SPI et du RDI augmentent quand les échelles de temps augmentés

Il est évident que les deux indices sont liés dans les différentes échelles de temps. Cela signifié que les deux indices étudiés pour la détermination de la sécheresse météorologique sont très bien adaptés à notre étude de la sécheresse.

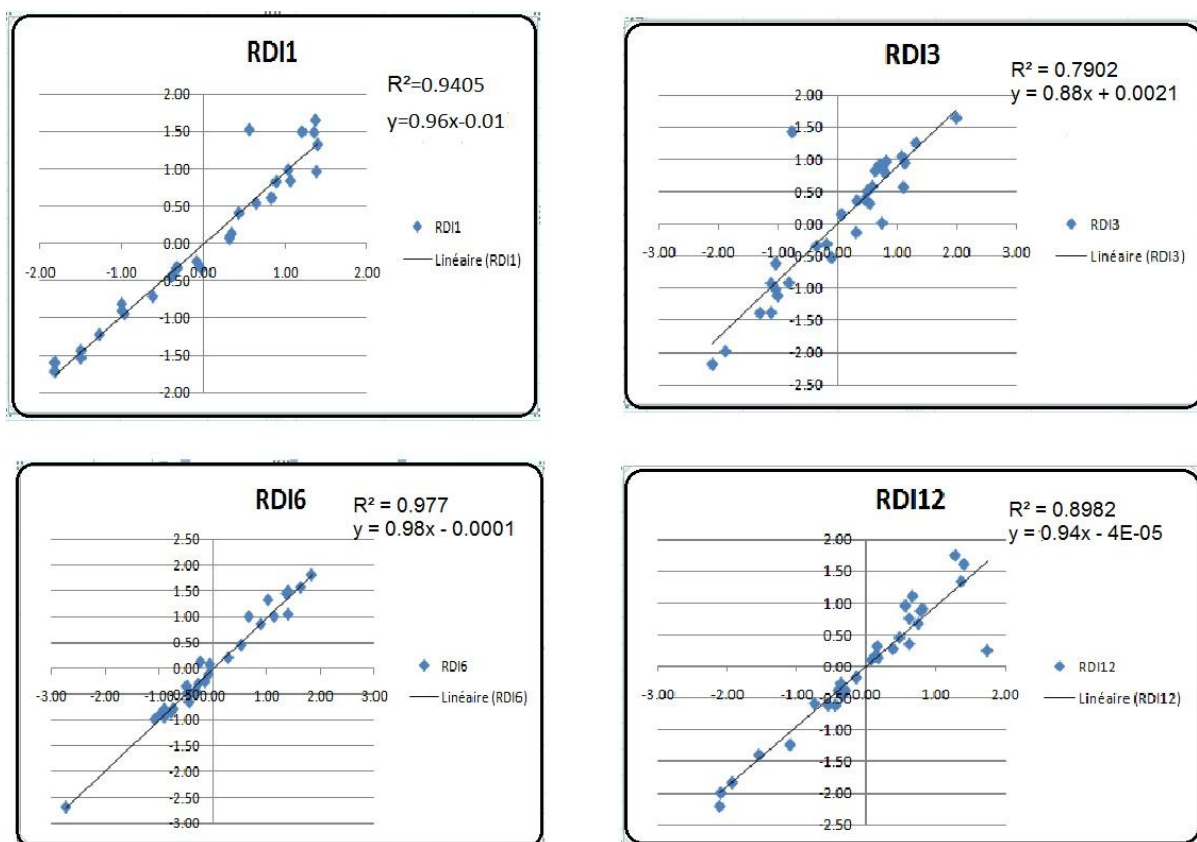


Figure 31 : Diagramme de dispersion du SPI et du RDI de la station de Djelfa pendant la période (1985-2015).

IV. Corrélations de RDI avec la précipitation et la température

Afin de déterminer le paramètre le plus influencé avec l'indice RDI, nous avons essayé de chercher la bonne corrélation entre les précipitations et l'indice RDI et les températures avec le même indice.

Tableau.14 : Précipitation et la température moyenne des années la plus sèche et humide

Années	Précipitation (mm)	Température (°C)	RDI
1991-1992	39.00	14.61	1.06
2000-2001	23.88	16.58	-1.82
2001-2002	24.48	16.13	-1.26
2009-2010	36.04	15.80	1.18
1996-1997	32.73	16.01	1.31
2014-2015	32.77	15.96	0.18

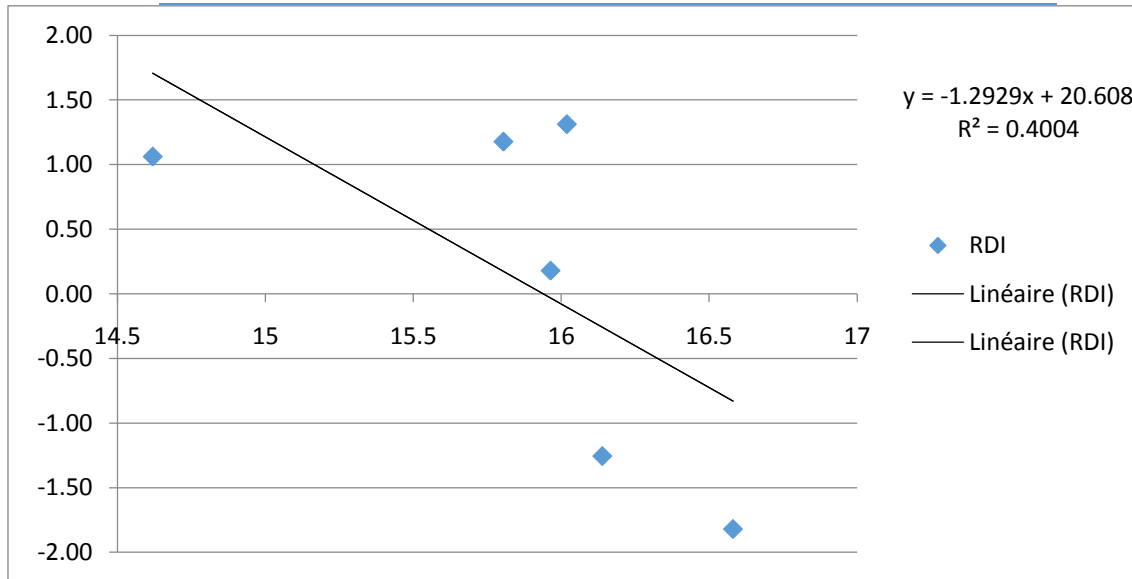


Figure 32 : la corrélation entre RDI et la température

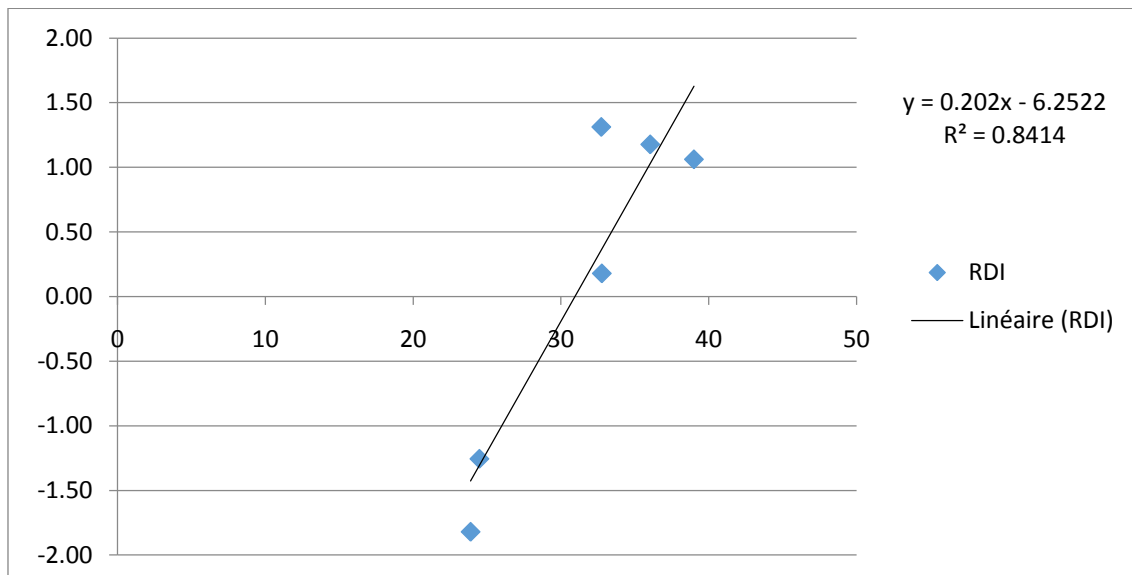


Figure 33 : la corrélation entre RDI et la précipitation

D’après les résultats des corrélations en remarque que les corrélations de RDI avec la température est de l’ordre de 0.40 et la corrélation de RDI avec la précipitation est de l’ordre 0.84 c’est à dire la précipitation c’est le paramètre la plus influencé sur la sécheresse.

VI. Géostatistique et Cartographie

Les résultats des indices (RDI-Déciles-SPI) d’une série de 30 ans pour 11 stations, ont montrés que les stations ne couvrent pas toute l’étendue de notre région, cela nous empêchent a faire une évaluation bien précise. Les méthodes de géostatistique présentent une solution pour bien cartographie ce phénomène, à laide de sig par la logiciel du acrgis 10.4 et la méthode de krigeage ordinaire de type sphérique afin de réaliser les carte des cartes pour chaque 4 ans dans la série des résultats et deux cartes de l’année la plus sèche et la plus humide, on donne par exemple les résultats des analyses géostatistiques et statistiques des deux années une année sèche et l’autre humide

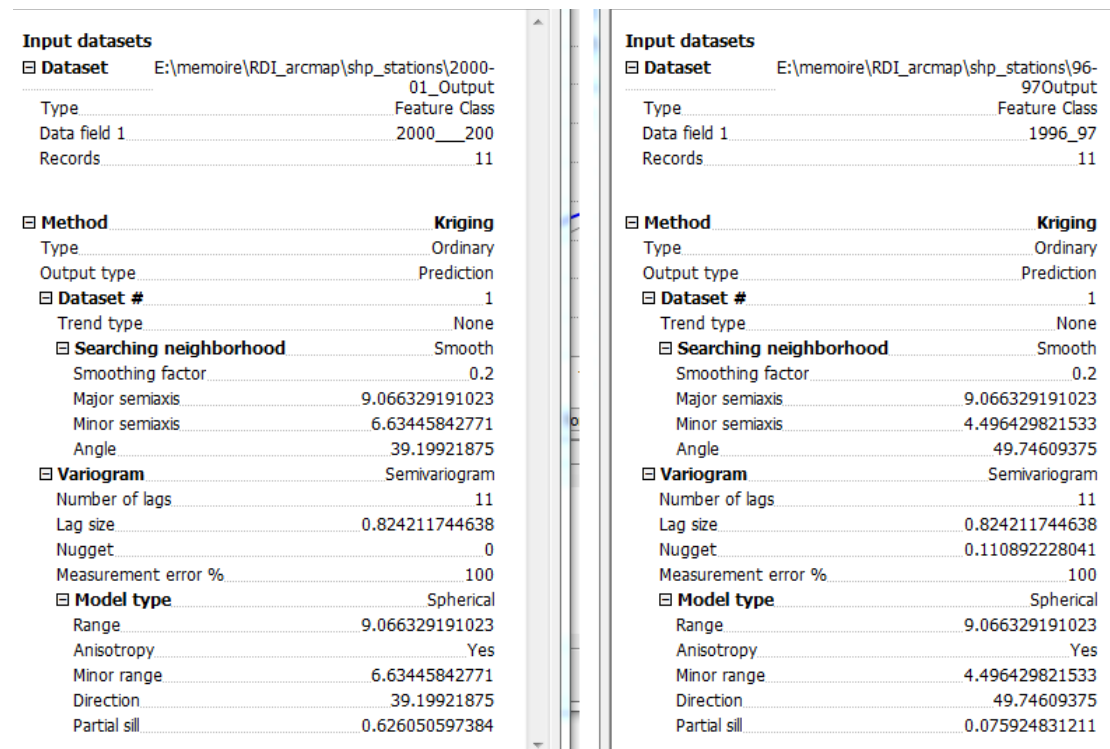


Figure.34 : Rapportes géostatistique de l’année (1996-1997 et 2000-2001)

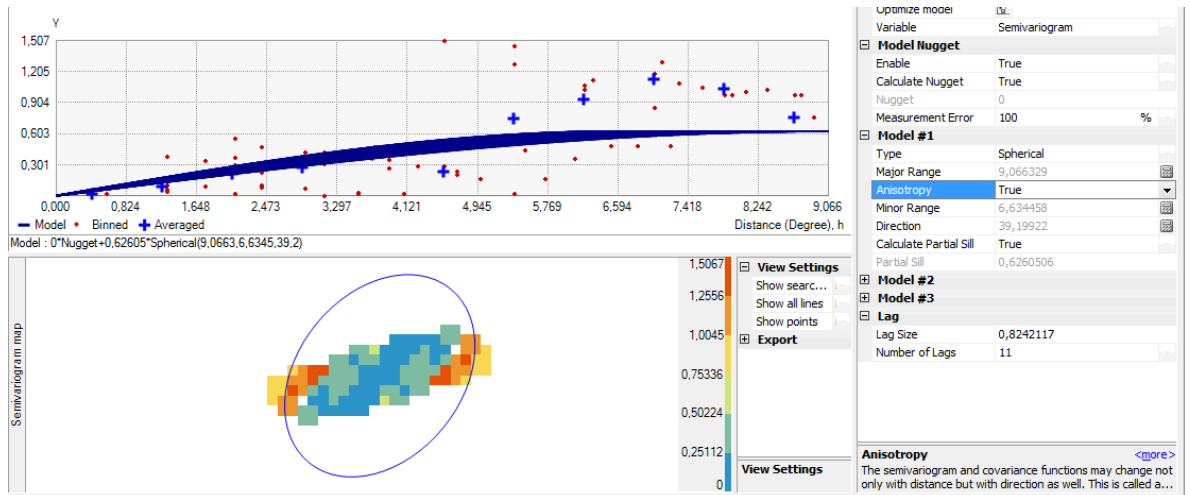


Figure 35 : Semivariogramme de l'année 2000-2001

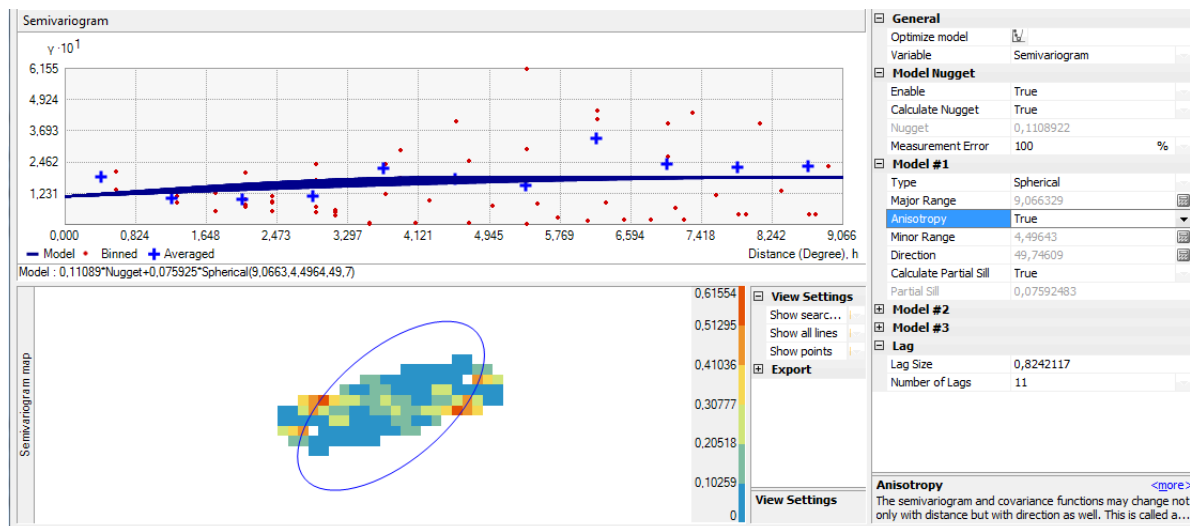


Figure 36 : Semivariogramme de l'année 1997-1996

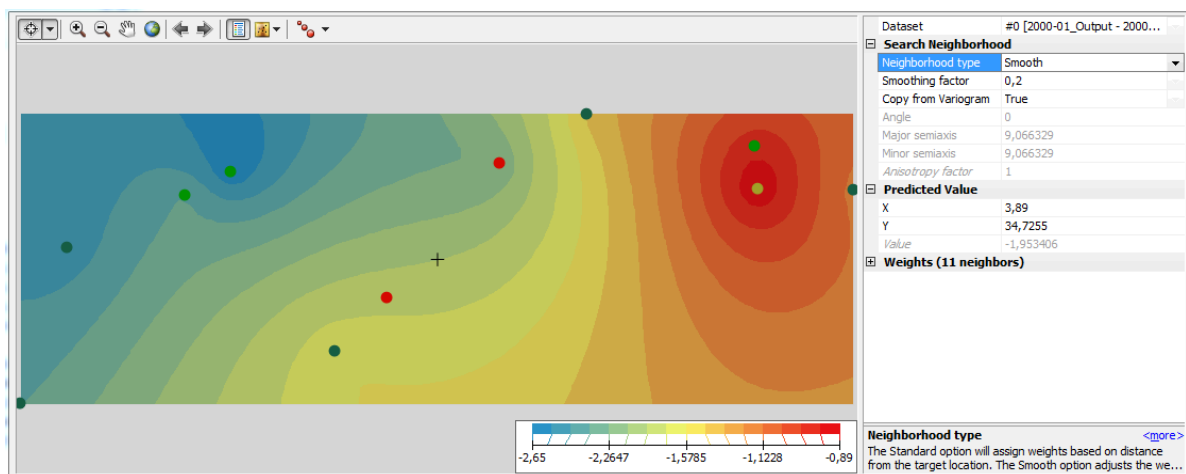


Figure 37 : Recherche de voisinage pour l'année 2000-2001

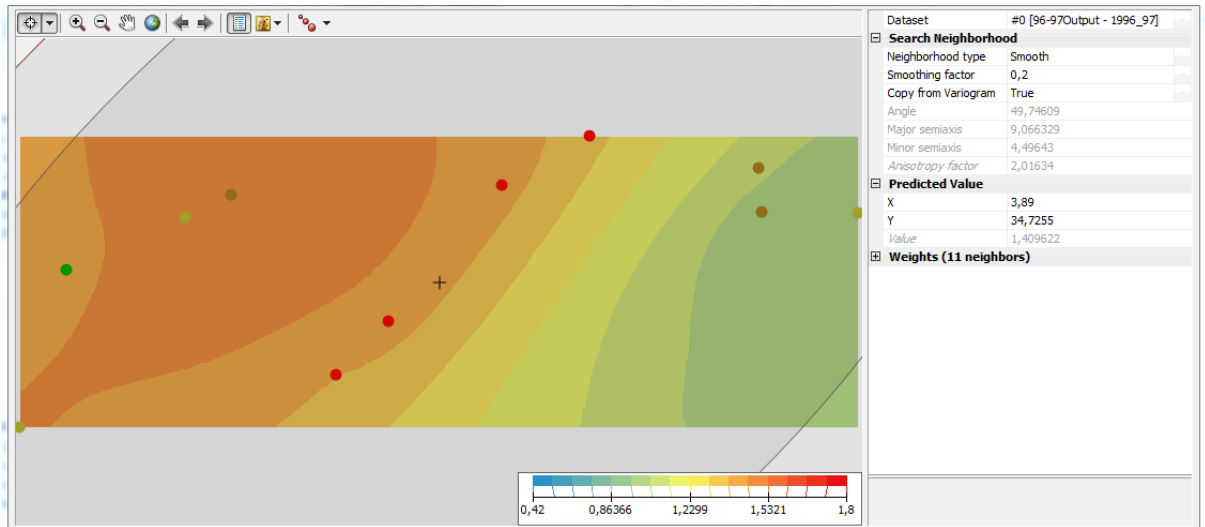


Figure 38 : Recherche de voisinage pour l'année 1996-1997

VI. 1. Validation de Cross

D'après les résultats de la méthode de Cross des deux années en remarque que tous les résultats de prédictions d'erreurs sont rapprocher à 0, c'est signification d'une erreur très faible dans ce modèle donc notre model est validé (figure 39):

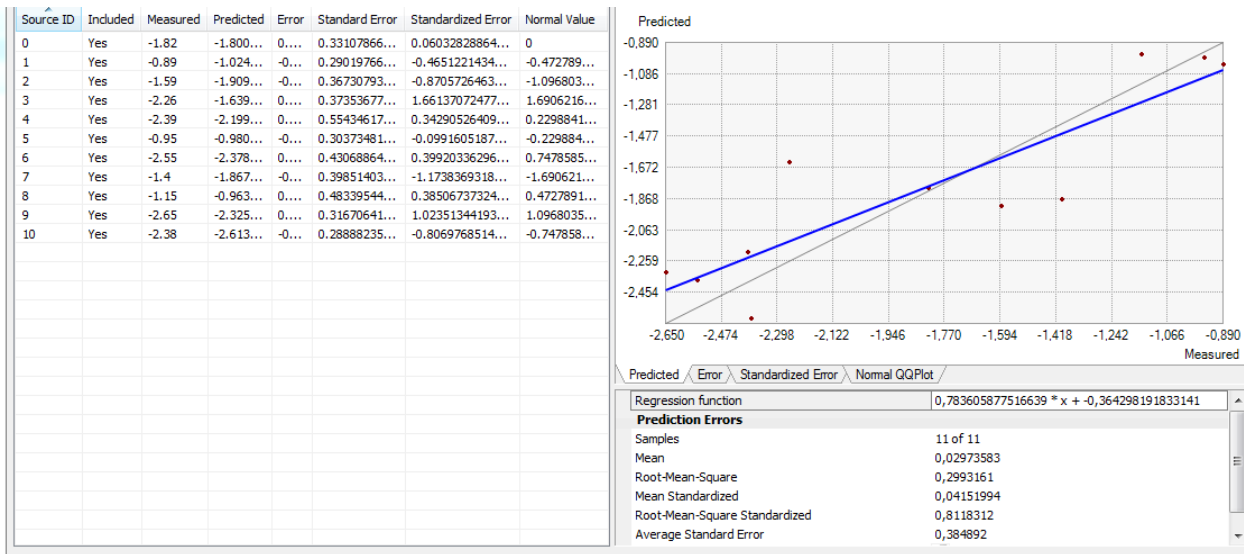


Figure 39 : les résultats de mesure et d'erreur année 2000-2001

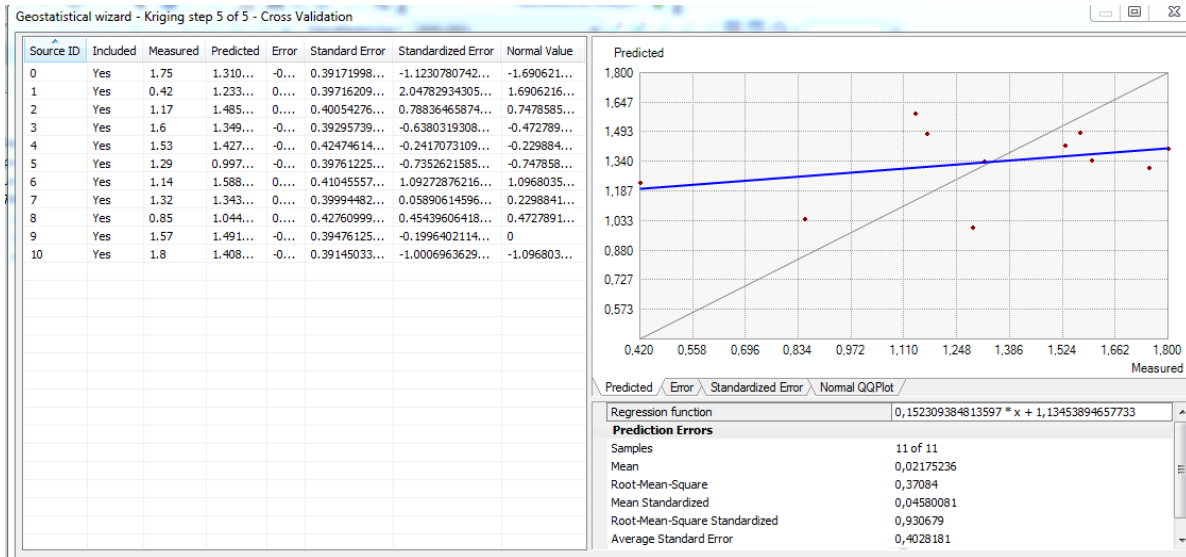


Figure 40 : les résultats de mesure et d'erreur année 1996-1997

VI.2.La distribution des données

L'histogramme QQ plot nous a données la distribution des données. Les résultats de l'année 1996-1997 montrent que la zone des pointes tourne autour de 0 et l'écarte type se trouve sensiblement au dessus et très proche de la droite théorique. Pour l'année 2000-2001 la zone des pointes se trouvé en 0 écarte type et sous et dessus la droite théorique et aussi très proche

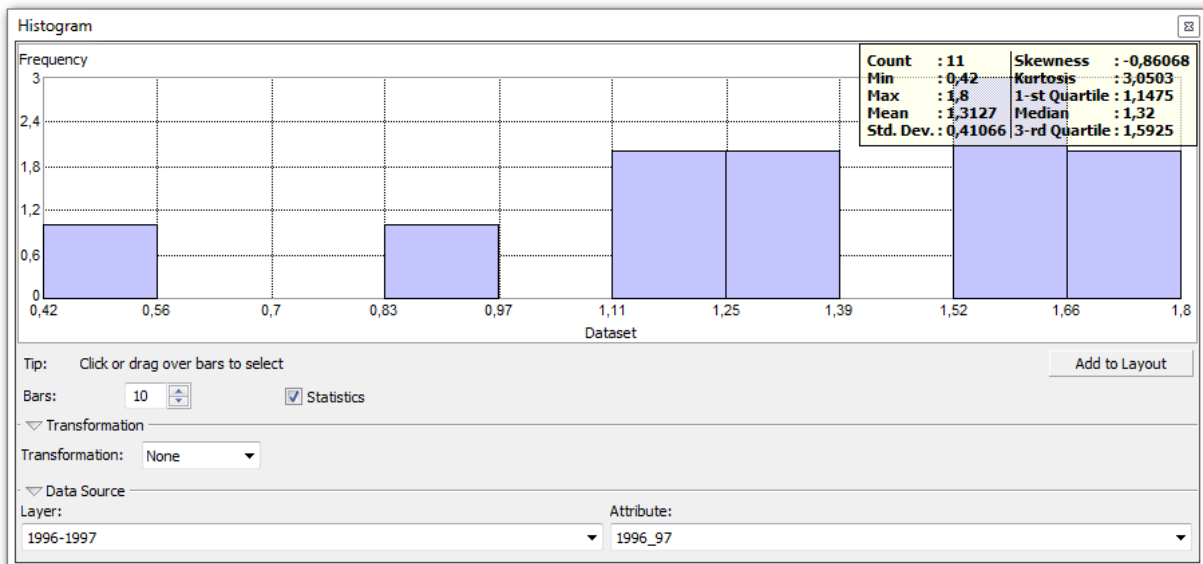


Figure 41 : Histogramme QQ plot de l'année 1996-1997

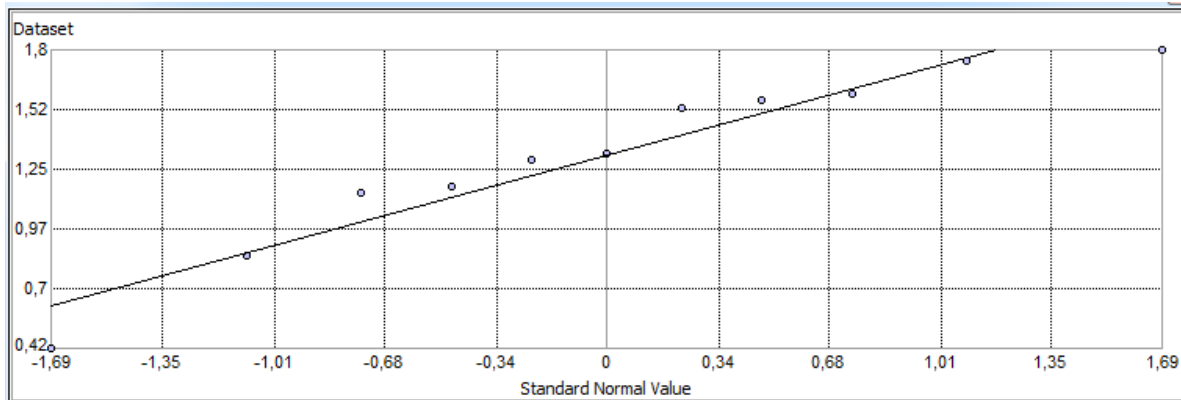


Figure42 : le graphe de QQ normale l'année 1996-1997

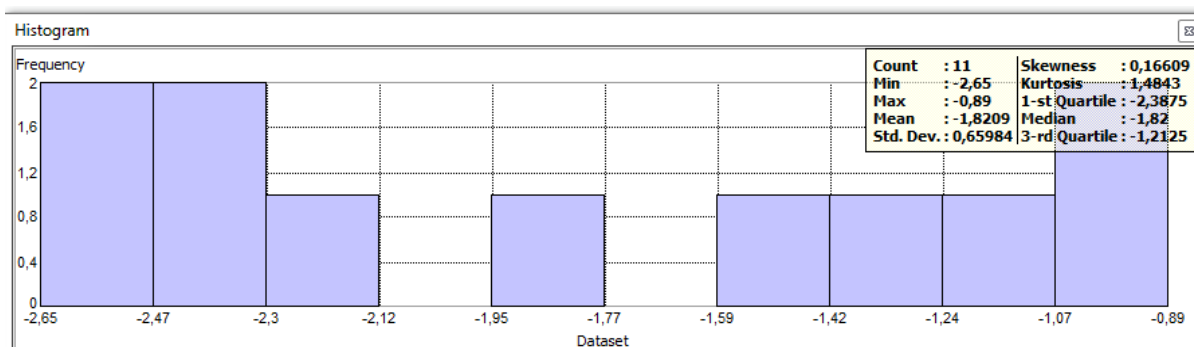


Figure 43 : Histogramme QQ plot de l'année 2001-2002

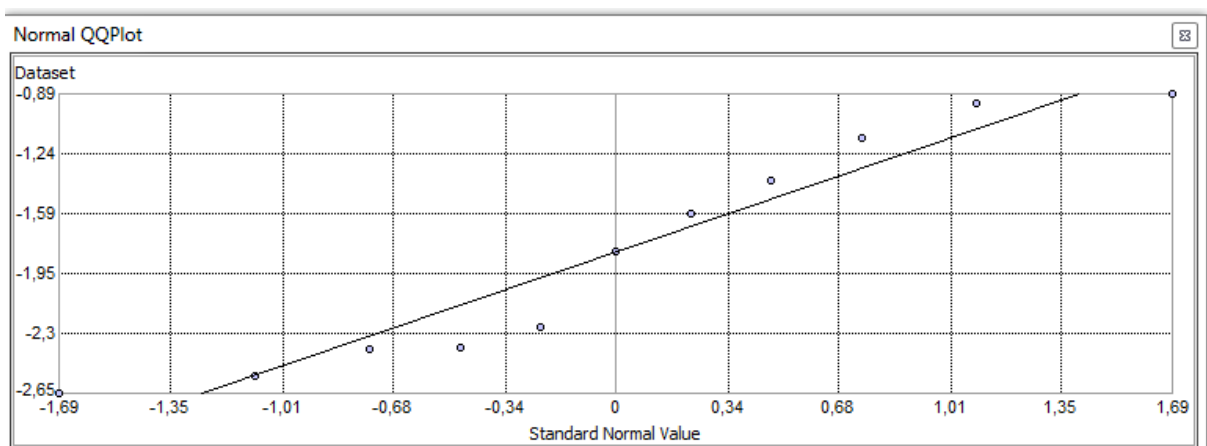


Figure 44: le graphe de QQ normale l'année 2000-2001

IIV. La cartographie des indices de sécheresse

Après la validation par les méthodes de la géostatistique, on peut réaliser des cartes de la sécheresse dans la zone d'étude au cours de la période 2000 – 2015 ces cartes sont réalisées sur un pas de temps de 4 ans. Les cartes de la figure 49 montrent la répartition spatio-temporelle de l'indice DRI pour les années 1985-1986, 1989-1990, 1993-1994 et 1997-1998. On remarque deux périodes de sécheresse, une dans la période 1989-1990 avec des valeurs qui dépassent -2 et une autre période sèche moins faible dans la période 1993-1994.

La carte de l'année 1985-1986 présente une dégradation vers la sécheresse de l'extrême Est au Sud-ouest où les parties de Naama et Elbayad sont totalement affecté par la sécheresse.

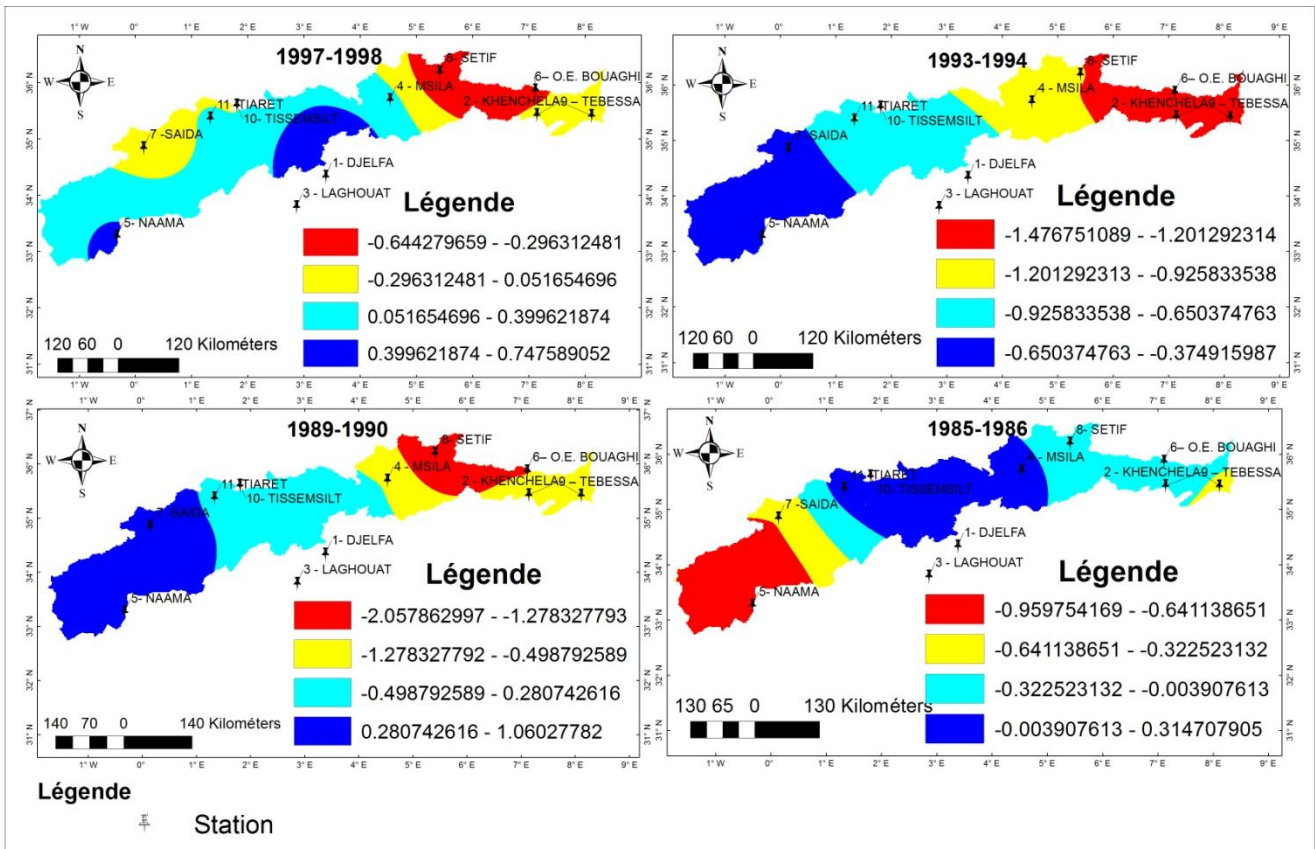


Figure. 45 : Cartes de répartition de la sécheresse selon l'indice RDI pour la période de 1985-1998

Les cartes de la figure 46 montrent la répartition spatio-temporelle de l'indice DRI pour les années 2000-2001, 2005-2006, 2009-2010 et 2014-2015. la première remarque de ces cartes est que les années 2000-2001 et 2005-2006 sont des années sèches où les valeurs indiquant la sécheresse dans l'année 2000-2001, occupent une partie du Sud-ouest et une grande partie de l'Est, les régions qui se trouvent dans la partie centre montre une sécheresse moins faible par rapport aux autres zones. La carte de l'année 2004-2005, montre que la sécheresse se concentre à l'Est, le reste de la région présente des faibles valeurs de sécheresse. la comparaison entre la carte de l'année 2009-2010 et la carte de l'année 2014-2015, fait ressortir une tendance de sécheresse selon une orientation Sud-Ouest et Nord-Est, avec des valeurs moins faibles par rapport à l'année 2009-2010.

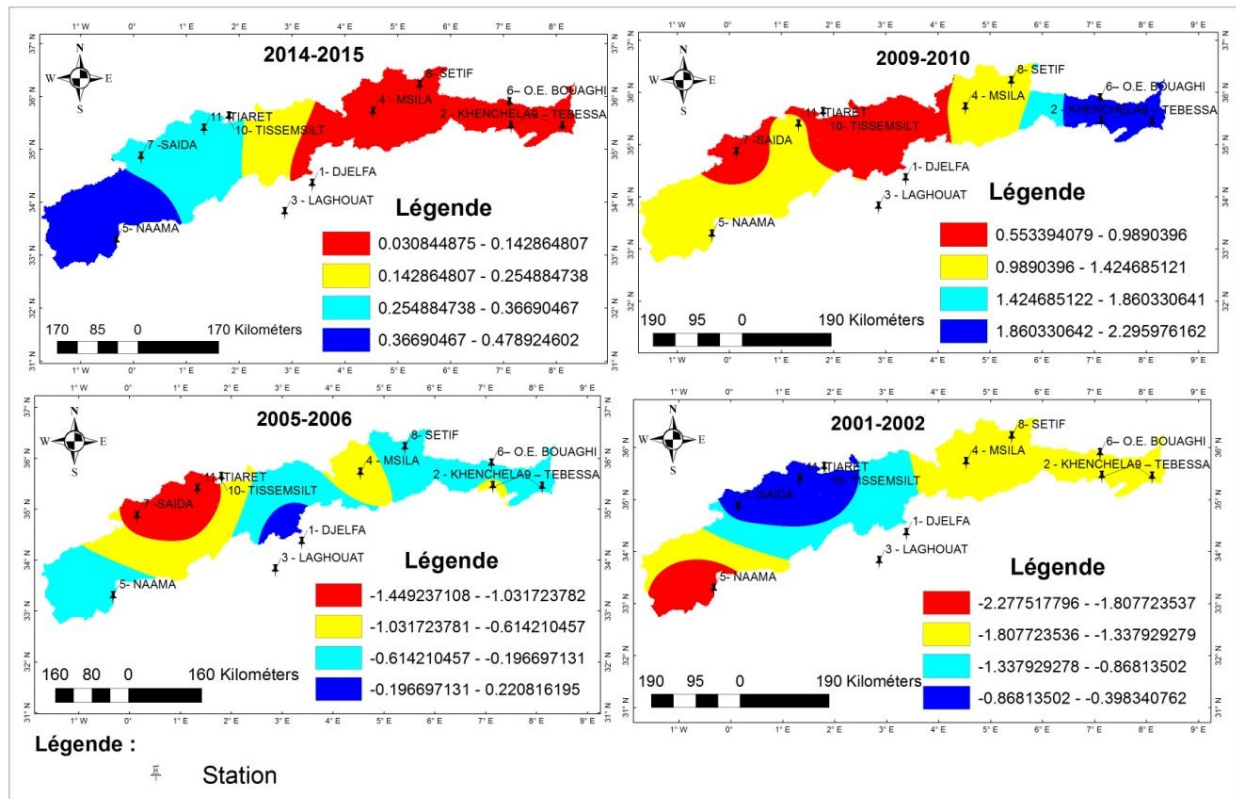


Figure 46 : Cartes de répartition de la sécheresse selon l'indice RDI pour la période de 2001-2015. L'analyse de cartes obtenues nous montre que l'année la plus humide est celle du 1996-1997, la répartition de la sécheresse selon l'indice RDI dans cette carte (figure47) présente une dégradation vers la sécheresse allant d'Ouest vers l'Est, la zone la plus humide se trouve dans la région du centre.

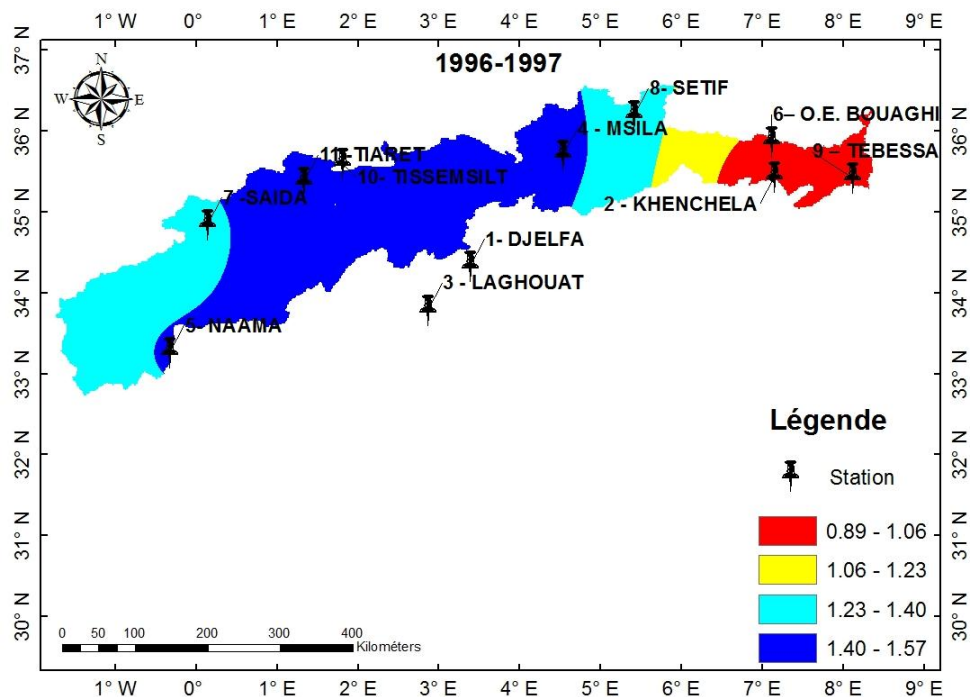


Figure 47: Carte de répartition de la sécheresse de l'année la plus humide selon l'indice RDI

L'année 2000 -2001 est l'année la plus sèche de toute la période. La carte ci-dessous (figure 48) fait ressortir 3 principales plages de sécheresse, la première plage est la plus sèche et couvre une la partie de l'ouest et centre, la sécheresse est moins importante à l'extrême Est.

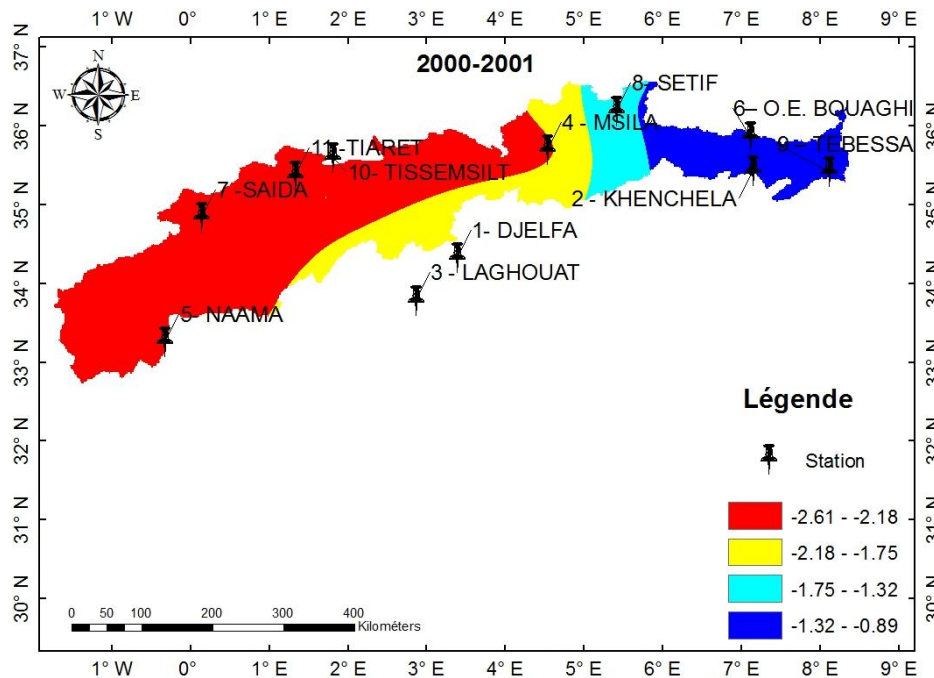


Figure 48: Carte de répartition de la sécheresse de l'année la plus sèche selon l'indice RDI

Conclusion

la pluparts des stationsde notre zone d'étude, montrent des zones semi-aride (Tebessa–Msila–Djelfa–Laghouat–Tiaret–Saida–Naama),et seulement 3 stations présentent des zones sub-humide (Kenchela–O.E.Bouaghi–Tissemsilt).la zone humide est représenté dans carte par station de Setif.

Les résultats obtenus ont montré un phénomène de sécheresse remarquable dans Toutes les stations, durant les années de1997-1998 jusqu'à 2002-2003 et 1997-1998. L'augmentation de la sécheresse a une tendance de l'Ouest vers l'Est.

En analysant les résultats de RDIst et de SPI, nous remarquons que les résultats sont très proches en termes de classification et que RDI montre des résultats plus précisent

D'après les résultats des corrélations en remarque que les corrélations de RDI avec la température est de l'ordre de 0.40 et la corrélation de RDI avec la précipitation est de l'ordre0.84 c'est à dire la précipitation c'est le paramètre la plus influencé sur la sécheresse.

Les cartes de la répartition spatio-temporelle de l'indice RDI montrent que les années 2000-2001 et 2005-2006 sont les années les plus sèches. La sécheresse de l'année 2000-2001, occupe une partie du Sud-ouest et une grande partie de l'Est, les régions qui se trouvent dans la partie centre montre une sécheresse moins faible par rapport aux autres zones. La carte de l'année 2004-2005, montre que la sécheresse se concentre à l'Est, le reste de la région présente des faibles valeurs de sécheresse. La comparaison entre la carte de l'année 2009-2010 et la carte de l'année 2014-2015, fait ressortir que la tendance de la sécheresse selon une orientation Sud-Ouest et Nord-Est, avec des valeurs moins faibles par rapport à l'année 2009-2010.

Conclusion Générale

Notre zone se trouve entre l'Atlas saharien et l'Atlas Tallien et regroupe-les sous bassin versant situés entre les deux altitudes 1200 m. Du point de vue hydrologique le régime des oueds, est une conséquence directe du régime pluviométrique, est caractérisé par une alternance de crues courtes et violentes, et d'étiages sévères, dont les débits sont parfois très faibles, voire nuls.

Les niveaux aquifères raisonnablement exploitables sont les formations superficielles ou récentes du Néogène-Quaternaire, d'une part, et les grès du Crétacé inférieur d'autre part (Barrémien et Albien). Les autres formations sont certes des réservoirs potentiels ; mais leur exploration et leur exploitation sont difficiles. Le domaine des Hauts Plateaux est un pays calcaire très fracturé; l'étude détaillée de ce vaste aquifère fissuré reste à faire.

La région d'étude est soumise à une variation climat semi aride à sub-humide, caractérisé par des précipitations moyennes relativement faibles de 401.46 mm au niveau des stations d'étude. Ce climat est marqué par une évapotranspiration moyenne de 857.02mm.

Le suivi des sécheresses fait fréquemment appel à des indicateurs ou des indices qui varient selon la région la saison. Comme d'autres aléas, la sécheresse peut être décrite par son intensité, son emplacement, sa durée et son moment d'apparition.

Les indices de Sécheresse sont généralement utilisés pour évaluer la gravité de la sécheresse de manière significative. DrinC est un logiciel développé pour fournir une interface simple, bien qu'adaptable, pour le calcul des performances indices de sécheresse.

La géostatistique a été utilisée comme une méthode d'interpolation relativement récente pour étudier la variabilité spatiale. Elle est basée sur la théorie des variables régionalisées. Tous les traitements des données ont été effectués à l'aide d'ArcGIS, avec les extensions d'analyse spatiale qui possède un module d'analyse exploratoire des données spatiales. Ce module offre une large gamme de possibilités permettant la détection de tendances ou de dérives dans les données, le repérage des valeurs anormales et l'étude des corrélations spatiales de ces données. L'utilisation du krigeage comme outil d'interpolation, nous a permis d'élaborer des cartes des paramètres climatiques et des indices de sécheresse.

Les résultats sont analysés de façon à faire apparaître les différents indices de sécheresse, les méthodes géostatistiques ont été utilisées pour réaliser la régionalisation des paramètres climatiques (précipitation, température, évapotranspiration...ect) et faire des cartes des indices de sécheresse.

La plupart des stations de notre zone d'étude, montrent des zones semi-aride (Tebessa–Msila–Djelfa–Laghouat–Tiaret–Saida–Naama), et seulement 3 stations présentent des zones sub-

Conclusion Générale

humide (Kenchela–O.E.Bouaghi–Tissemsilt).la zone humide est représenté dans carte par station de Setif.

Les résultats obtenus ont montré que dans Toutes les stations, les années de1997-1998 jusqu'à 2002-2003 et 1997-1998 ont présentées des périodes de sécheresses. L'augmentation de la sécheresse a une tendance de l'Ouest vers l'Est.

En analysant les résultats de RDIST et de SPI, nous remarquons que les résultats sont très proches en termes de classification et que RDI montre des résultats plus précisent

D'après les résultats des corrélations en remarque que les corrélations de RDI avec la température est de l'ordre de 0.40 et la corrélation de RDI avec la précipitation est de l'ordre0.84 c'est à dire la précipitation c'est le paramètre la plus influencé sur la sécheresse.

Les cartes la répartition spatio-temporelle de l'indice DRI montrent que les années 2000-2001 et 2005-2006 sont les années les plus sèches.la sécheresse de l'année 2000-2001, occupe une partie du Sud-ouest et une grande partie de l'Est, les régions qui se trouvent dans la partie centre montre une sécheresse moins faible par rapport aux autres zones. La carte de l'année 2004-2005, montre que la sécheresse se concentre à l'Est , le reste de la région présente des faible valeurs de sécheresse.la comparaison entre la carte de l'année 2009-2010 et la carte de l'année 2014-2015, fait ressortir que tendance de la sécheresse selon une orientation Sud-ouest et Nord-est, avec des valeurs moins faible par rapport à l'année 2009-2010.

En fin, l'étude réalisée au niveau des haut plateaux, nous a permis d'avoir une idée sur la répartition spatiotemporelle des quelques paramètres climatiques et d'évaluer le phénomène de sécheresse dans cette zone durant une période de 30 ans. Ces i devraient nous orienter vers des futurs travaux importants dans le domaine de la régionalisation des paramètres climatiques ainsi que des préavisons de la sécheresse dans le contexte du Changements climatiques.

Référence bibliographie

- **ABDERRAHMANE M;(2016)**. Régionalisation Des Pluies Annuelles Dans l'Algérie Nordcidentale',Eau et Environnement45. 91–102p. <https://doi.org/10.4000/books.enseditions.871>.
- **ANTONIA L ; PAOLO V.(2010)**-Trend Analysis of Annual and Seasonal Rainfall Time Series in the Mediterranean Area, International Journal of Climatology, 30-10.
- **AMIRA M ; MOHAMED S;(2012)**.Régionalisation Des Lois de Distribution Des Pluies Mensuelles En Tunisie', Hydrological Sciences Journal, 57-4, 668–85
- **ALAIN F;(2009)**. Climatologie et Paléoclimatologie.
- **27-AZAR Z AND OTHERS;(2017)**.Estimation of Meteorological Drought Indices Based on AgMERRA Precipitation Data and Station-Observed Precipitation Data,Journal of Arid Land, 9.6 , 797–809p.
- **28-ALPHONSE K, DIBAYA O, AND FAUSCN N;(2016)**.Plan de l'Exposé IntroducCon, 1–17p.
- **MEBARKI A;(2003)**.Cartographie Automatique Des Precipitations : Application a L ' Est Algérien, Sciences & Technologie.100–107p.
- **AMEL T, MOHAMED M, AND BEKKOUSSA B;(2011)**. Etude de La Variabilité de La Pluviométrie Dans Les Hauts Plateaux et Le Sahara Algériens, Secheresse, 22 149–58p.
- **CHRISTIAN F ; ROGER P;(1984)**. Aridité Climatique, Aridité Édaphique,Bulletin de La Societe Botanique de France. Actualites Botaniques, 131.2–4 , 265–75
- **CENTRAL AFRICA;(2004-2006)**. Modélisation Hydrologique et Régionalisation En Afrique de l ' Ouest et Centrale, 1–10p.
- **CHIEW ET ZHANG, 2009**. Predicting hydrological signatures in ungauged catchments using spatial interpolation, index model, and rainfall–runoff modeling Journal of Hydrology 517:936-948
- **DONGWOO J;(2018)**. Assessment of Meteorological Drought Indices in Korea Using RCP 8.5 Scenario, Water (Switzerland), 10-3p.
- **DENIS M;(2018)**.Cours GML6402A Automne 2018 Courriel : Denis.Marcotte@polymtl.ca Site Internet Du Cours : [Http://Geo.Polymtl.ca/~marcotte/Gml6402.Html](http://Geo.Polymtl.ca/~marcotte/Gml6402.Html) But Du Cours : Le Cours vise à Ce Que l ' Étudiant Maîtrise Suffisamment Les Notions de Base de La Géostatistique .
- **DIMITRIS T, HARRIS V, AND GEORGE T**, 'DrinC: A Software for Drought Analysis Based on Drought Indices,Earth Science Informatics, 8.3, 697–709p.

- **D Tigkas, H Vangelis, And G Tsakiris;(2013).**The RDI as a Composite Climatic Index, European Water 41 , 17–22p.
- **D E BIOCLIMATOLOGIE AND OTHERS;(1980).**Elements de Bioclimatologie.
- **Djellouli M ; BabahamedK,;(2014).**Analyse de la secheresse hydrologique par l'utilisation de l'indice sri ,étude de cas : Bassin versant d'oued louza .
- **ECOLE POLYTECHNIQUE, ECOLE DES MINES;(2009) -N'DJAFI OUAGA H,** 'Vulnérabilité, Impacts et Stratégies d'adaptation Des Populations Locales à La Variabilité et Aux Changements Climatiques., 28 p.
- **FARID T;(2007).**Méthodes d'estimation de l'évaporation transpiration Réelle à l'échelle Du Bassin Versant Du Kou Au Burkina Faso.133p.
- **FORESTRY JOURNAL;(2018).**Étude Comparative Entre Les Méthodes d' Interpolation Pour La Cartographie Des Nitrates : Cas d' Application Les Eaux Souterraines de Djelfa , Algérie.2.1 18–25p.
- **GILLES D;(2013)** Ere Dans Un Espace Transfrontalier (Abilitation à Diriger Des Recherches (H . D .R .) Etudes Hydro-Climatologiques Régionales. Applications à l'Évolution Du Climat et Aux Écoulements de Rivière.Mémoire de master. Université Paris-Diderot (Paris 7).
- **GEORGE T; HARRIS V;(2005).** Establishing a Drought Index Incorporating Evapotranspiration, European Water. 9.10, 3–11p.
- **GHANIA D ;2007.**Les risques climatiques et agriculture algérienne ; Séminaire sur les risques agricoles assurances et réassurances
- **GIORGI E; LIONELLO2008.** Climate change projections for the Mediterranean region. October 2007
- **GIORGI E; LIONELLO2008.**Climate change projections for the Mediterranean region. in Global and Planetary Change 63:90-104.
- **HELGA S ; ISABELLE R;(2018).** Changement Climatique, Guide Des Humanités Environnementales.20-511 pp.
- **JEAN-P;(2011).** Apports Méthodologiques Pour La Caractérisation Des Événements de Sécheresse. Analyse-Bibliographique.
- **JEAN A;(OCTOBRE 2015).** Régionalisation : Les Paramètres Climatiques Régionaux.
- **KAMBI, O ; KABEMBA;(2016).** OMM, Manuel Des Indicateurs et Indices de Sécheresse.
- **KEYANTASH ET DRACUP,2002.** The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices
- **LONGOBARDI AND OTHERS;(2016).**Spatial and Temporal Distribution of Precipitation in a Mediterranean Area (Southern Italy), Environmental Earth Sciences, 75-3 , 1–20p.

- **LABORATOIRE SOIS;(2006)**. Analyse Inverse et Modélisation d ' Essais Pres Siométriques Réalisés Sur Un Sol de Beyrouth Inverse Analysis and Numerical Performed in Beirut. 43–48p.
- **L E S PARAMETRES;(OCTOBER 2015)**. Régionalisation : Les Paramètres Hydrologiques Régionaux.
- **MOHAMMAD A ; ZARCH;(2011)**. Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran, Water Resources Management, 25-13, 3485–3504.
- **Mohamed A; Khelfi; Bénina ;Touaibia, And Enrico G;(2017)**. Regionalization of the “Intensity-Duration-Frequency” Curves in Northern Algeria, Arabian Journal of Geosciences, 10-20p.
- **MEDANE K;(2012)**. Hydrologie et Modelisation Pluie-Debit : Cas Du Bassin Versant de l’oued Boumessaoud (Tafna Nw- Algerien). 121pp.
- **MARTIN A ; GUTIERREZ L;(2003)**. Modélisation Stochastique Des Régimes Pluviométriques a L ' Échelle Régionale Pour La Prévision Des Crues Au Nord-Mexique, 197p.
- **M BONNET AND OTHERS;(1970)**. Calcul Automatique Des “Bilans D’Eau” Mensuels Et Annuels Par Les Méthodes De Thornthwaite Et De Turc 1–21; ‘
- **MERADI O ; MERZOUG S;(2016)**. POUR UN REEQUILIBRAGE PROSPECTIF DU PAR UNE ASPECTS’, 62–86p.
- **A. MEBARKI;(2003)**. Cartographie Automatique Des Precipitations : Application a L ' Est Algérien, Sciences & Technologie. 100–107p.
- **Nouaceur et al., 2013 ; Donat et al., 2013**. Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien
- **OMM 2013 New et al., 2001 ; Christensen et al., 2007**. Regional climate projections. In Climate Change 2007: the physical science basis. Contribution of Working group 1 to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Université Press, Cambridge.
- **OMM, CNULCD ET FAO,2013**. Pratiques et technologies pour une Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) au Bénin.
- **PEREIRA ET AL. 2009**. A new multiplex for human identification using insertion/deletion polymorphisms, Electrophoresis 2009, 30, 3682–3690.
- **RICHARD W ;MARGARET A;(2001)**. Geostatistics for Environmental Scientists, 2nd Edition (Statistics in Practice).
- **S NIEMEYER;(2008)**. New Drought Indices, Drought Managment: Scientific and Technological Innovations, 80.80, 267–74p.

- **SPINONI ET AL. (2014) SPINONI ET AL. (2015):** European drought climatologies and trends based on a multi-indicator approach.
- **TSAKIRIS AND VANGELIS;**Universite Saad and Dahleb D E Blida, ‘Memoire de Master’, , 2015.
- **TERRA M;(2012).**Les Trois Solutions Pour Se Prémunir Contre La Sécheresse.
- **TP DE TELEDETECTION (2014).** Septentrionale Du, Sahara Et, and Couvre Sensiblement, ‘Le Problème de La Steppe En Algerie’, 1962, 113–20.

Sites internet

1-<http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>.

2.http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guid_fr_2012.pdf.

3-<http://www.wamis.org/agm/pubs/agm11/agm11.pdf>.

4-<http://www.droughtmanagement.info/> ou par courriel (idmp@wmo.int).