

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعامة بخميس مليانة
Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
Département de : Biologie



Mémoire de fin d'étude
En vue de l'obtention du diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité: Eau et Bioclimatologie

Thème

Contribution de la variabilité climatique dans le contexte de
la désertification, cas de la région de Djelfa

Présenté par :

M^{elle} : Mohammed Keriati Nora

M^{elle} : Rehif Akila

Soutenu le: Juin 2017, Devant le jury composés de :

Président: M ^r : AMOKRANE.A	M.A. A	UDBKM
Promotrice: M ^{me} : HALLOUZ. F	M.C.B	UDBKM
Examinatrice: M ^{me} : KARHAÇANE.H	M.A.A	UDBKM
Examineur: M ^r : HAMMOUDA.R.F	M.A.A	UDBKM

Année Universitaire : 2016 - 2017

Remerciements

Pour commencer nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a toujours donné la force de passer à travers toutes les épreuves et les découragements, qui nous a aidée à mener à terme Cette étude.

Nous remercions sincèrement notre promotrice M^{me} HALLOUZ Faiza pour ses judicieux conseils. Quelques mots ne suffiront pas à exprimer notre profonde gratitude pour la confiance que vous nous avez accordée en acceptant de superviser ce travail.

Nous tenons ainsi à remercier les membres de jury M^r AMOKRANE .A, M^{me} KARAHACANE. H, Mr HAMMOUDA .R.F, pour avoir accepté d'affecter. Un temps à ce modeste travail et d'attribuer des remarques et des corrections très intéressantes.

Nos reconnaissances et gratitudes envers tous les enseignants, les responsables et les agents de la Faculté des Science de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre, Département de Biologie à l'université de Djilali Bounaama Khemis Miliana sans exceptions.

En fin nous tenons à exprimer, nos remerciements à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

Dédicaces

Avant tous je dis EL Hamdou Lillah qui m'a aidé à terminer ce travail, Je dédie ce modeste travail:

A Mes chers parents

REHIF Abdalkadre et KAÇMI Fatima

Que je respecte beaucoup, car ils m'ont tous donné dans ma vie personnel et professionnel et je souhaite que je rembourse tous ces sacrifices,

Mes chères sœurs

A mes frères

À toute la famille

A mon binôme MOHAMMED KARIATI Nora

A tous mes amis.

A tous promotion 2016/2017 de spécialité d'eau et bioclimatologie

À tous ceux qui ont participé de près ou de loin pour la réalisation de ce travail,

REHIF AKILA

Dédicaces

Avec l'aide de Dieu, je dédie ce modeste travail à mes parents les plus chers dans le monde, mes frères Imad et Abbas, mes sœurs Yasmine et Hizia, mes oncles et tantes,

À tous mes amis

À tous mes enseignants (es)

À mon binôme REHIF Akila

À mes collègues de la promotion

À mes collègues de Centre d'INRF (DJELFA)

À tous ceux ou celles que je n'ai pas cité, qui ont contribué matériellement et moralement dans ma formation et la finalisation de ce manuscrit, qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de mes vifs remerciements.

MOHAMMED KERIATI NOÛA

Tables des matières

Page

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Abstract

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des photos

Liste des tableaux

Introduction générale 01

Chapitre I : Aperçu Bibliographique.

1. Introduction	03
2. Définition du climat	03
3. Définition de la désertification	03
4. Différentes catégories des zones arides	04
4.1. Régions hyperarides	04
4.2. Régions arides	04
4.3. Régions semi-arides	04
4.4. Régions subhumides sèches	04
5. État de la désertification en Algérie	04
5.1. État des écosystèmes forestiers	04
5.2. État des écosystèmes steppiques	05
5.3. État des écosystèmes sahariens	06
6. Principales causes de la désertification	06
6.1. Factures naturels	06
6.2. Factures anthropiques	08
7. Conséquences de la désertification	09
8. Impacts de la désertification des sols	10
9. Recherches et développement	10
10. Lutte contre la désertification	11
10.1. Barrage vert	12
11. Conclusion	13

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.

1. Introduction	14
2. Cadre général de la zone d'étude	14
2.1. Situation géographique	14
2.2. Situation démographique	16
2.2.1. Structure de la population	16
2.3. Potentialités hydrauliques	16
2.3.1. Eau superficielles	16
2.3.2. Eau souterraine	16
2.4. Géologie	17
2.5. Relief	17
2.5.1. Zone plane de Nord	17

2.5.2 .Zone des dépressions des Chotts	17
2.5.3 .Zone de la dépression d'Ouled Nail	17
2.5.4 .Zone de plateau prédésertique ou plateau saharien	17
2.6. Pédologie	17
2.6.1. Type du sol	17
2.6.1.1. Sols squelettiques	17
2.6.1.2 .Sols d'accumulation calcaire et gypseuse	17
2.6.1.3 .Sols salés	18
2.6.1.4 .Sols à vocation agricole	18
2.7 .Végétations	18
2.7.1. Forêts	18
2.7.2. Reboisements	18
2.7.3. Formations steppiques	18
2.8 .Faune terrestre	19
3. Aperçu climatique	19
3.1 .Précipitations	19
3.1.1. Précipitations moyenne mensuelle	19
3.1.2. Précipitations annuelle	20
3.2 .Température	20
3.2.1. La variation de la température	20
3.2.2. Amplitude thermique	21
3.3. Vent	21
4 .Régime climatique	22
4.1. Quotient pluviométrique d'Emberger	22
4.2 .Déficit d'écoulement ou Evapotranspiration	23
4.2.1. Evapotranspiration Réelle ETR	24
4.2.1.1. Formule de TURC (1954)	24
4.2.1.2. Formule de THORNTHWAITE (1944)	24
5. Conclusion	25

Chapitre III : Matériel et méthodes

1. Introduction	27
2 .Origines des données	27
2.1. Stations météorologiques de la région de Djelfa	28
3 .Logiciels utilisés	29
4 .Critique des données	29
4.1. Méthode de comblement des données par L'HYDROLAB	29
4.2 .Méthode de calcul des pluies classées	30
4.2.1. Tests statistiques de détection rupture	30
4.2.2. Analyses statistiques	30
5. Etude de la sécheresse via les indices climatiques	33
5.1. Indice standardisé de précipitation (SPI)	33
5.1.1 Avantages et inconvénients	34
5.2. Indice de déficit pluviométrique (IDP)	34
5.3 .Calcul de L'Effective Drought Index (EDI)	35
5.4 .Indice de saisonnalité (SI)	35
5.5. Indice d'agressivité de la pluviométrie	36
5.6. Indice de sécheresse estivale d'Emberger - Giacobbe (S)	37
5.7. Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gaussen	37
5.8. Indice d'aridité de De Martonne (I)	37
5.9. Bilan climatique (Bc)	38

6. Conclusion.....	39
--------------------	----

Chapitre IV : Résultats et discussions

1. Introduction	40
2. Résultats et discussion.....	40
2.1 .Application des tests de rupture	40
2.1.1 .Analyse de données des précipitations.....	40
2.2. Déficit hydriques par l'Indice de Précipitation Standardisé (SPI).....	40
2.2.1. Echelle annuelle	41
2.2.1.1. Caractérisation de la sécheresse	43
2.2.2. Echelle Saisonnière	44
2.2.3. Echelle mensuelle.....	47
2.3. Résultats de l'indice de déficit pluviométrique.....	52
2.4 .Résultats de L'Effective Drought Index (EDI)	54
2.5. Résultats de l'indice de Saisonnalité.....	55
2.6. Indice d'agressivité de la pluviomètre	56
2.6.1. Variation de l'indice IPC et IFM sur toute la période d'étude (1984-2009)	56
2.6.2 .Variation de l'indice IPC et IFM à chaque année de la période d'étude (1984-2009)...	57
2.7. Indice de Sécheresse Estivale d'Emberger –Giacobbe	58
2.8. Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gaussen	59
2.9. Indice d'aridité de De Martonne	59
2.10. Bilan climatique	60
3. Discussions.....	61
Conclusion générale	65

Références Bibliographique

Annexes

Résumé

L'objectif de notre travail est de contribuer à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur la désertification, cas de la région de Djelfa.

En effet, l'analyse d'une gamme des indices climatiques aux niveaux des trois stations météorologiques dans la région de Djelfa (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) sur une période de 26 ans (1984-2009) à différentes échelles : annuels, saisonniers et mensuels et d'autres indicateurs climatiques calculés sur une période de 30 ans (1984-2013) dans la station de Djelfa, a permis de mettre en évidence que la variabilité climatique dans la région de Djelfa, fait apparaître l'existence des périodes sèches, plus longue que les périodes humides, ainsi et grâce aux tests statistiques, des ruptures à la hausse ont été détectées, mais les calculs des indices et du bilan climatiques montrent une sécheresse pendant une longue période (1984-2000), ce qui pousse à dire que le facteur pluie n'explique pas et n'est pas le seul responsable du phénomène de désertification dans la région de Djelfa, cependant il peut y avoir d'autres paramètres qui entrent en jeu tels que le vent, responsable de l'érosion éolienne, le couvert végétal..., qu'on a pas pu traiter lors de cette étude ceci à cause du manque de données nécessaires.

Mots-clés : Djelfa, désertification, indices climatiques, variabilité climatiques, tests statistiques, sécheresse, pluie.

الهدف من عملنا هذا هو دراسة تأثير التغير المناخي على ظاهرة التصحر في المنطقة الجلفة.

الواقع أن تحليل مجموعة من المؤشرات المناخية على مستوى ثلاث محطات الأرصاد الجوية في (عين معبد،) 26 (2009-1984) على مستويات مختلفة: سنوية، موسمية و شهرية المؤشرات المناخية لها 30 (2013-1984) تسليط الضوء على أن تقلب المناخ في المنطقة الجلفة، يكشف عن وجود فترات الجفاف، أطول من الفترات الممطرة، وبالتالي من خلال الاختبارات الإحصائية، والميزانية العمومية لمناخ تظهر يكون في فترة طويلة (2000-1984) قول أن المطر لا يفسر التصحر في المنطقة الجلفة هوليس يد، ولكن قد يكون هناك غيرها من ال دورها مثل الرياح رئيس ... هذه الدراسة نظرا لعدم وجود البيانات .

الاختبارات الإحصائية

مفتاحية:

Abstract

The objective of our work is to contribute to the study of the impact of climate variability on desertification, the case of the Djelfa region.

Indeed, the analysis of a range of climatic indices at the three meteorological stations in the region of Djelfa (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf and Djelfa) over a period of 26 years (1984-2009) at different scales: annual, Seasonal and monthly and other climatic indicators computed over a period of 30 years (1984-2013) in the Djelfa station, showed that climatic variability in the Djelfa region reveals the existence of dry periods, Longer than wet periods, and statistical tests revealed that upward breaks were detected, but calculations of indices and climate balance show a drought over a long period (1984-2000), which The rain factor does not explain and is not solely responsible for the phenomenon of desertification in the Djelfa region, but there may be other parameters that come into play Such as wind, responsible for wind erosion, vegetation cover, etc., which could not be dealt with in this study because of the lack of necessary data.

Key-words: Djelfa, desertification, climate indices, climate variability, statistical tests, drought and rainfall.

Liste des abréviations

AARDES : Association algérienne pour la recherche démographique et sociale.
ABHCZ : Agence des bassins hydrographiques Cheleff- Zahrez.
ANDI : Agence nationale développement de l'investissement.
ANLCD : Agence nationale sur la lutte contre la désertification.
CARI : Centre d'Actions et de Réalisations Internationales.
CCNUCC : Convention Cadre des Nation Unies sur les Changements climatiques.
CETIM : Centre d'étude et de service technologique de l'industrie et matériaux de construction.
CRBT : Centre de recherches sur les Ressources Biologiques et terrestres.
CREAD : Centre de Recherche de l'Economie Appliqué et développement.
CRSTRA : Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides.
DGF : Direction générale de Fortêts .
DPAT : Direction de la planification et de l'Aménagement du territoire.
EDI: Effective Drought Index.
ESRI: Environmental Systems Research Institute.
HCDS : Haut Commissariat au Développement de la Steppe.
IDP : Indice de Déficit Pluviométrique.
IFM : Indice modifié de fournier.
INRAA : Institut National de la Recherche Agronomique Algérien.
INRF : Institut National de Recherche Forestière.
IPC : Indice précipitation concentration.
IRD : Institut de Recherche et du Développement France.
LCD : Lutte Contre la Désertification.
NDMC: National Drought Mitigation Center.
OMM : Organisation météorologique mondiale.
ONM : Office Nationale de la météorologie.
PAN : Plan d'Action Nationaux.
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement.
SPI : l'indice de précipitation standardisé
SI : Indice de saisonnalité
SW : Sud Ouest
UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

Liste des figures

Figure 01 : Situation géographique de la wilaya de Djelfa (Boutalba, 2016).....	15
Figure 02 : Moyennes mensuelles des précipitations sur une période (1984-2013)...	19
Figure 03 : Variation annuelles de la pluviométrie (1984-2013).	20
Figure 04 : Variation moyennes mensuelles de la température.....	20
Figure 05 : Amplitude thermique moyenne mensuelle (°C). (1984-2013).....	21
Figure 06 : La variation moyenne mensuelle des vents (m/s). (1984-2013)	22
Figure 07 : Situation de la station de Djelfa sur Climagramme d'Emberger.....	23
Figure 08 : La variation moyenne mensuelle de l'évaporation potentielle.	25
Figure 09 : Position de 3 stations pluviométriques dans la région de Djelfa.	28
Figure 10 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI-12) à partir des précipitations recueillies dans la station météorologique d'Ain Maabed.	41
Figure 11 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI-12) à partir des précipitations recueillies dans la station météorologique de Mergueb Ben Haffaf. ...	41
Figure 12 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI-12) à partir des précipitations recueillies dans la station météorologique de Djelfa.	42
Figure 13 : Pourcentages des fréquences de l'indice de SPI annuel dans les stations (Djelfa, Mergueb Ben Haffaf et Ain Maabed) de (1984-2009).	43
Figure 14 : Evolution de l'intensité de la sécheresse durant Automne dans les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).....	44
Figure 15 : Evolution de l'intensité de la sécheresse en Hiver dans les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).	45
Figure 16 : Evolution de l'intensité de la sécheresse en Printemps les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).	45
Figure 17 : Evolution de l'intensité de la sécheresse en Été dans les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).	46
Figure 18 : Variation du SPI à l'échelle mensuelle au niveau de trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) durant 26 ans. (1984-2009).	48
Figure 19 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2009.	52
Figure 20 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2009.....	53
Figure 21 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2009.....	53
Figure 22 : Evolution annuel d'EDI sur une période (1984-2009)	54
Figure 23 : Variation de l'indice de saisonnalité dans les stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) sur une période (1984-2009).	55
Figure 24 : Variation de l'indice de concentration de précipitation (PCI) sur une période (1984-2009)	57
Figure 25 : Variation de l'indice de fourmier modifié (IFM) sur une période (1984-2009).	58

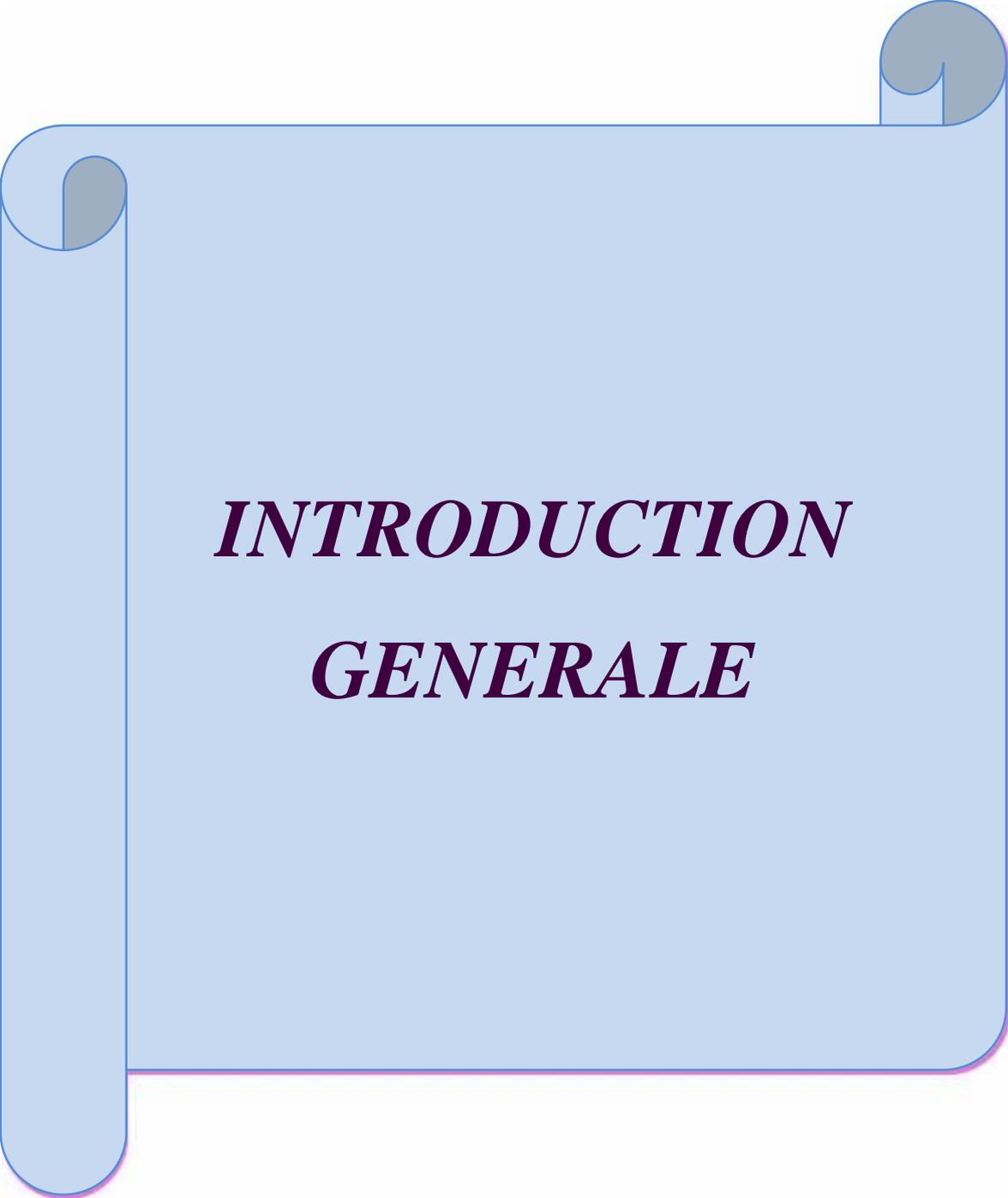
Figure 26 : Variation de l'indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe de la station de Djelfa sur une période (1984-2013)	58
Figure 27 : Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gaussen (1984-2013).....	59
Figure 28: Situation de la station de Djelfa sur l'Abaque de l'indice d'aridité de De Martonne.	60
Figure 29: Variation mensuelle du bilan climatique moyen à partir de deux paramètres climatiques tels que précipitation et l'évapotranspiration potentielle de 1984 à 2013 dans la station de Djelfa.	60

Listes des photos

Photo 01 : Cordon dunaire dans la région de Djelfa	03
Photo 02 : Sécheresse dans la zone d'étude	07
Photo 03 : Erosion éolienne dans la région de Djelfa	07
Photo 04 : Barrage vert dans la région de Djelfa.....	12

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classes de sensibilité à la désertification avec la surface occupée.....	05
Tableau02 :Impacts de la désertification selon les principaux processus impliqués.....	10
Tableau 03 : Calcul de l'ETR par la formule de Turc (annuel).....	24
Tableau 04 : Inventaire des stations pluviométriques.....	29
Tableau 05 : Sévérité du SPI (Selon McKee et al ,1993).....	33
Tableau 06 : Classes associées à l'EDI.....	35
Tableau 07 : Echelle d'appréciation de la saisonnalité.....	36
Tableau 08 : Echelle d'appréciation de la concentration des pluies selon l'indice PCI (Précipitation Concentration Index).....	36
Tableau 09 : Echelles d'appréciation de l'agressivité des pluies selon l'indice IFM (Indice de Fournier Modifié).....	37
Tableau 10 : Valeur de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimats correspondants.....	38
Tableau 11 : Test de détection de rupture sur les pluies annuelles.....	40
Tableau 12 : Ampleur de la sécheresse durant une période de 1984 à 2009.....	55
Tableau 13 : Résultats et interprétations des indices IFM et IPC.....	56
Tableau 14 : Résultats des indices durant (1984-2009) aux niveaux des stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa).....	61
Tableau 15 : Résultats des indices durant (1984-2013) au niveau de la station de Djelfa.....	62



***INTRODUCTION
GENERALE***

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La désertification se confirme chaque jour comme étant un problème d'envergure mondiale et se classe parmi les défis environnementaux les plus importants d'aujourd'hui. Selon la littérature, la désertification menace présentement un tiers de la superficie terrestre du globe et les moyens de subsistance d'environ un milliard de personnes vivant dans plus de 100 pays répartis sur tous les continents à l'exception de l'antarctique. La dégradation des terres se produit partout dans le monde, mais elle s'avère d'autant plus dommageable dans les régions arides qui couvrent 41 % de la surface terrestre et habitent plus de deux milliards de personnes (Emily, 2010).

La désertification est définie par la convention des Nations Unies sur la Lutte Contre la Désertification (UNCCD) comme, une "dégradation des terres dans les zones rudes, semi-arides et subhumides sèches, par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines"(Niang, 2008).

Par sa position géographique et son climat semi-aride, l'Algérie se trouve confronter à d'énormes défis liés principalement aux différentes perturbations subits du climat engendrant des irrégularités des systèmes climatiques affectant sensiblement les activités économiques du pays (succession des sécheresses, inondations catastrophiques...). L'Algérie à l'instar des autres pays de la région, n'est nullement à l'abri du changement climatique observé à l'échelle planétaire durant les dernières décennies (Belaroui et Liazid, 2012).

La région de Djelfa représente un exemple type de la steppe du Nord de l'Afrique. Elle est située au centre de l'Algérie du Nord, à 300 km au Sud de la capitale. Avec une superficie de 32280 km² soit 1.36 % de la superficie totale du territoire nationale Algérien (Boubakeur et al, 2014).

Il y a des enjeux majeurs des recherches sur un phénomène complexe comme la variabilité climatique, est de quantifier son impact sur la désertification qui peut différer d'une région à une autre. C'est la raison pour laquelle nous avons entrepris une étude de la variabilité climatique sur la désertification à la région de Djelfa en considérant certains paramètres climatiques sur quelques stations de cette région, celle qui est : (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa).

La méthodologie consiste à établir d'abord contribution de la variabilité climatique (la pluviométrie, la température et l'ETP) avec des indicateurs climatiques sur chaque station d'étude. Et désigne la dégradation des terres dans la zone de Djelfa, enfin de prévoir les variations de paramètres climatiques par les indices climatiques étudiés, à l'échelle annuelle révèle des tendances significatives enregistrées au courant des 30 ans, de 1984 à 2013 et 26 ans de 1984 à 2009, en utilisant l'approche statistique.

Pour finir ; Dans ce présent thème, contribution de la variabilité climatique dans le contexte de la désertification cas de la région de Djelfa dans un contexte d'approche par certains indicateurs.

Les objectifs de cette étude sont :

S'intéresser dans un premier temps à la notion de la désertification. A la suite de cela, on calculera des indices climatiques qui donneront certaines évaluations des analyses de la variabilité climatique dans la région de Djelfa.

En fait, les outils utilisés dans ces analyses sont plusieurs indices : Indices calculés au pas du temps annuel, saisonnière et mensuel, le calcul du Bilan climatique à l'échelle mensuelle et aussi d'autres indices seront utilisés à l'échelle annuelle.

Les axes articulatoires de la réalisation de ce mémoire commencent par une introduction générale présentant la problématique du sujet, suivie par 4 parties :

- ✓ Un premier axe constitue un aperçu bibliographique et généralité sur la désertification.
- ✓ Un deuxième représente le milieu naturel de la zone d'étude.
- ✓ Un troisième donne une présentation du matériel et des méthodes déployées dans la réalisation de travail.
- ✓ Le dernier a permis une visualisation des résultats obtenus et leurs discussions.

En dernier, une conclusion générale qui regroupe les résultats obtenus.



CHAPITRE I
APERÇU
BIBLIOGRAPHIQUE

1. Introduction

Le premier chapitre aborde la définition et les concepts importants de la désertification. Plus spécifiquement, les principaux éléments d'intérêt en lien avec la désertification y sont traités dans le but d'établir l'état des connaissances sur ce processus de dégradation environnementale par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.

2. Définitions du climat

C'est l'ensemble des paramètres météorologiques (température, humidité, vent, ensoleillement, précipitations) qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère en un lieu donné.

Au sens étroit du terme, le climat désigne généralement le "temps moyen" ; il s'agit plus précisément d'une description statistique en fonction de la moyenne et de la variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes allant de quelques mois à des milliers, voire à des millions d'années (la période classique, définie par l'Organisation météorologique mondiale, est de 30 ans). Ces grandeurs sont le plus souvent des variables de surface telles que la température, les précipitations et le vent. Dans un sens plus large, le climat est la description statistique (Djamaladine et Mahamat, 2014).

3. Définitions de la désertification

Au sens commun du terme et selon les dictionnaires, la désertification c'est la transformation d'une région en désert. Le mot évoque l'avancée du désert aussi bien que la désertion des campagnes, en fait pour les scientifiques et la communauté internationale il s'agit d'un phénomène de grande importance : « Le terme désertification désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines. » Cette dégradation des terres en zones sèches se manifeste par une détérioration de la couverture végétale, des sols et des ressources en eau, et aboutit à l'échelle humaine de temps, à une diminution ou à une destruction du potentiel biologique des terres ou de leur capacité à supporter les populations qui y vivent (Benguerai, 2011).



Photo 01 : Cordon dunaire dans la région de Djelfa (Mohammed Keriati et Rehif 2016).

4. Différentes étages climatiques

Elles se distinguent par des différences dans les régimes de pluie et de températures, il y a quatre catégories de zones arides (Koïchiro et Hama Arba, 2002):

4.1. Régions hyperarides

Les précipitations sont inférieures à 100 mm/an. Les périodes de sécheresse peuvent dépasser une année. Dans ces régions la productivité biologique est très faible et la seule activité viable est le pastoralisme nomade.

4.2. Régions arides

En général, les précipitations ne dépassent pas 200 mm/an. Ce sont souvent des régions d'élevage (sédentaire ou nomade) et d'agriculture irriguée.

4.3. Régions semi-arides

Les précipitations ne dépassent pas 500 mm/an pour les zones à pluies d'hiver ou 800 mm/an pour les zones à pluies d'été. Ce sont des régions d'élevage et d'agriculture sédentaire.

4.4. Régions subhumides sèches

Le régime des pluies a un fort caractère saisonnier. Ce sont des régions d'agriculture pluviale. Comme les régions semi-arides, elles sont particulièrement sensibles au phénomène de désertification à cause d'une forte pression démographique.

Toutes ces zones sont caractérisées par un manque de disponibilité de l'eau et par les mêmes processus de dégradation, suite à la surexploitation des ressources naturelles.

5. État de la désertification en Algérie

La désertification est fortement présente en Algérie. Toutefois, ce sont les zones steppiques qui restent les plus sensibles avec ses 20 millions d'hectares. (ANLCD, 1996).

5.1. État des écosystèmes forestiers

Les forêts algériennes sont caractérisées par leur hétérogénéité (biogéographie, climatique et géomorphologique), leur instabilité (érosion, fragilité des sols, violence des orages) et leur vulnérabilité (liée à la diversité géomorphologique). L'état des forêts est très variable mais, de manière générale, les espèces nobles régressent par rapport aux espèces rustiques. Les grands traits caractérisant la forêt algérienne peuvent se résumer comme suit (ANLCD, 1996) :

- Une forêt essentiellement de lumière, irrégulière, avec des peuplements feuillus ou résineux le plus souvent ouverts formés d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange parfois désordonné.
- Présence d'un épais sous-bois composé d'un grand nombre d'espèces secondaires limitant la visibilité et l'accessibilité et favorisant la propagation des feux.
- Faiblesse du rendement moyen en volume ligneux.
- Existence d'un surpâturage important (surtout dans les subéraies) et empiètement sur les surfaces forestières par les populations riveraines.

5.2.État des écosystèmes steppiques

La steppe algérienne s'étend sur 20 millions d'hectares et la surface des parcours est évaluée à 15 millions d'hectare avec les nappes d'alfa qui totalisent 2,7 millions d'hectares. De manière générale, les « bons sols » sont constitués par les lits d'oueds.

La sédentarisation croissante des éleveurs (notamment autour des points d'eau) ainsi que l'utilisation de moyens de transport mécaniques et de citernes entraînent une exploitation intensive des pâturages, leur dégradation progressive et pour finir la désertification. A l'aide d'images satellitaires, la direction générale des forêts a établi avec le centre national des techniques spatiales, une carte de sensibilité à la désertification qui a permis de dégager 5 classes de sensibilité à la désertification (Yagoubi et Temar, 1997) :

Tableau 01 : Classes de sensibilité à la désertification avec la surface occupée

Classes	Surface (ha)
Désertifiée	487 902 ha
Sensible à la désertification	5 061 388 ha
Moyennement sensible	3 677 035 ha
Très sensible	2 215 035 ha
Peu ou pas sensible	2 379 170 ha

(Yagoubi, Temar, 1997)

Les pertes de productivité des sols dégradés en milieu steppiques sont importantes. Selon une étude du haut-commissariat au développement de la steppe (HCDS, 1978), la production totale de la steppe qui était de 1.6 milliard d'unités fourragères, n'atteint plus aujourd'hui que le tiers, soit environ 530 millions d'unités fourragères.

C'est donc au niveau de l'écosystème steppique que les risques de désertification sont les plus grands. Le risque majeur est le surpâturage produit par un cheptel pléthorique. Il est aggravé par une sécheresse exceptionnelle durant la décennie 1980-1990. Le cheptel est maintenu en place, même en mauvaise année, favorisant

une pression de pâturage constante sur les parcours ne permettant pas ainsi leur régénération (ANLCD, 1996).

5.3. État des écosystèmes sahariens

Le Sahara constitue une large barrière qui sépare le domaine méditerranéen au nord du domaine tropicale au sud. Le facteur déterminant est l'eau. Les régions sahariennes connaissent des déficiences pluviométriques très longues et souvent pluriannuelles. Les températures sont élevées. Les parcours présahariens et sahariens sont peu productifs et ne satisfont que 50 % de la demande globale. Le taux de couverture de la végétation est très faible (0 à 20 %). Cette végétation très adaptée à la sécheresse et à la géomorphologie caractéristique de la région reste menacé par l'érosion éolienne, le surpâturage, l'extension de la céréaliculture et l'arrachage des espèces ligneuses.

On constate aujourd'hui qu'au niveau du Sahara un déséquilibre du milieu oasien est bien avancé, consécutif d'une part à une urbanisation mal maîtrisée, entraînant un ensablement important, et d'autre part à une surexploitation des nappes souterraines.

Au niveau typique de labour mécanisé inadapté à ce milieu fragile, un surpâturage important aggravé par une sécheresse endémique, font que les strates herbacées ne se régénèrent plus et que les sols nus sont soumis à une déflation permanente provoquant ainsi l'appauvrissement du milieu et la désertification. (ANLCD, 1996).

6. Principales causes de la désertification

Les facteurs de dégradation des terres ont été rangés en deux catégories :

- ✓ Les facteurs naturels.
- ✓ Les facteurs anthropiques.

6.1. Facteurs naturels

A) Sécheresses : les sécheresses, ont été les révélateurs de la désertification dans les zones arides où la pluviosité est faible et sa variabilité plus grande, il est devenu plus difficile à l'écosystème et à la société de résister (Benguerai, 2011).



Photo 02 : Sécheresse dans la zone d'étude (Mohammed Keriati et Rehif, 2016)

B)Erosion éolienne : est due aux conditions climatiques et à la forte action anthropique qui diminuent le couvert végétal. perte de sol : 150 à300 t/ha/an dans les steppes défrichées. (Niamey, 2009).



Photo 03 : Erosion éolienne dans la région de Djelfa (Mohammed Keriati et Rehif, 2016)

C)Erosion hydrique : est due en grande partie aux crues et aux pluies torrentielles. Perte de sol 50 à250 t/ha/an entraînés par le ruissellement sur les sols dénudés à forte pente.(Niamey, 2009).

D) Changements climatiques

Un questionnement et un débat permanent existent sur les interactions réciproques entre désertification et changements climatiques. Les termes en sont à la fois complexes et controversés. La difficulté provient du fait que nos connaissances sur les processus de dégradation des terres et sur les mécanismes des changements climatiques sont encore bien incomplètes.

En résumé et malgré les incertitudes existantes, il semble que les changements climatiques globaux prévisibles, devraient se traduire dans les zones sèches subtropicales par un accroissement des conditions d'aridité, ce qui aggraverait la

pression des populations sur les ressources et la dégradation des terres. En retour, il est probable que la dégradation des terres en zone sèche, contribue à modifier le climat au niveau global. L'influence sur le bilan d'énergie global de l'atmosphère pourrait provenir : de la modification de l'albédo, de la modification de l'humidité des sols et du bilan hydrique, du changement de rugosité des surfaces, de l'émission de poussières et des variations dans l'émission ou le stockage de carbone. Cependant, l'importance relative de cette contribution n'est pas connue et l'influence de chaque facteur varie suivant les zones concernées. S'il était reconnu et vérifié que la dégradation des terres en zones sèches exerce une influence sur le climat global, la lutte contre la désertification prendrait une importance accrue pour la communauté internationale et notamment les pays développés (CARI, 2003).

6.2. Facteurs anthropiques

A) Surpâturage : la forêt sert de parcours permanent pendant la saison des neiges pour les éleveurs du nord. Elle est aussi terres de transhumance pour les troupeaux steppiques. On dénombre en forêt 960000 bovins, 600000 caprins et 4,2 millions d'ovins. Des études montrent que la charge pastorale est au moins quatre fois supérieure aux capacités d'équilibre (ANLCD,1996).

B) Salinisation du sol : processus d'accumulation de sels à la surface du sol et dans la zone rasinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol ; il s'en suit une diminution des rendements (Mermoud,2006). La salinisation est le résultat de l'évaporation et de la remontée par capillarité des eaux de la nappe phréatique ainsi que la présence d'eaux souterraines rendues de plus en plus salines faute d'un drainage approprié (Benguerei,2011).

C) Coupes de bois : suite à la hausse des prix du bois, les coupes illicites de bois de chauffage, de bois d'œuvre pour la construction et de bois d'ébénisterie sont en augmentation. Ces coupes touchent les arbres ayant les caractéristiques phénotypiques et génétiques les meilleurs et éliminent les meilleurs porteurs de graines. (ANLCD,1996).

D) Défrichements : des surfaces agricoles et marginalisées procèdent à des labours à la lisière des forêts. Ces pratiques, outre qu'elles ont un effet désastreux sur les sols, provoquent des antagonismes permanents entre les riverains et l'administration forestière guidée par un souci de protection des forêts (ANLCD,1996).

E) Croissance de la population steppique : la population steppique est passé de 1 255 000 habitants en 1968 à près de 4 millions en 1996. Durant la même période, la population nomade a régressé de 540.000 à 200.000 personnes. Cette régression est due au fait que la transhumance diminue au profit de déplacements de très courte durée (augmentation du surpâturage) (Benguerei,2011).

F) Exploitation économique des ressources naturelles: les ressources naturelles constituent la base de la productivité des systèmes écologiques et des milieux. Dans les pays en développement, l'exploitation des ressources naturelles

renouvelables contribue, de manière déterminante, à la satisfaction des besoins essentiels d'une grande partie de la population (Benguerei,2011).

G) Dégradation des terres arides : en général la dégradation débute par une altération de la végétation, une modification de la composition floristique, les espèces les plus utilisées se raréfient et disparaissent (Benguerei,2011).

7. Conséquences de la désertification

La principale conséquence de la désertification, concerne la diminution progressive de la productivité des terres ayant pour corollaire une pression démesurée sur les zones non affectées ou légèrement menacées par ce fléau, induisant elle-même à son tour le risque de désertification de ces zones non encore touchées.

Dans certains périmètres agricoles irrigués et oasis, la désertification a entraîné l'ensablement des canaux d'irrigation à ciel ouvert. Les effets de la désertification, combinée à la sécheresse prolongée, ont provoqué des dégâts non seulement à l'environnement lui-même, mais aussi aux infrastructures, aux installations humaines et aux ressources en eau vitales pour la survie dans les zones arides, dont la réhabilitation et la restauration nécessitent d'énormes dépenses que les populations locales ne peuvent pas prendre en charge (Benguerei,2011).

8. Impacts de la dégradation des sols

Tableau 02 : Impacts de la désertification selon les principaux processus impliqués.

Processus de désertification	Impacts sur le site	Impacts à l'extérieur du site
Dégradation de la végétation	<ul style="list-style-type: none"> - Perte de fourrage, de bois et de biodiversité - Réduction de la productivité du sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution de l'air (tempête de poussière) - Sédimentation (perte d'eau)
Érosion pluviale	<ul style="list-style-type: none"> - Enlèvement d'éléments nutritifs du sol - Perte à long terme de la productivité du sol - Lessivage des cultures - Formation de ravins 	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradation de la qualité de l'eau - Sédimentation dans les réservoirs, canaux de navigation et fossés de drainage - Dépôt de sédiments sur les champs - Inondation en aval des courants d'eau - Destruction des lieux de pêche
Érosion éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - Enlèvement d'éléments nutritifs du sol - Perte à long terme de la productivité du sol - Fouettement des plantes par le sable - Recouvrement des cultures par le sable - Déracinement des cultures 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution de l'air, tempête de poussière - Dépôt de sédiments sur les voies ferrées, routes, etc. - Maladies respiratoires chez les hommes et les animaux - Abrasion des machineries - Réduction de la visibilité

(Source : Emily, 2010)

De ce fait, la désertification se manifeste sous diverses formes, soit écologiques, économiques et sociales. Le tableau 01 résume les nombreuses conséquences du processus de la désertification des terres directement touchées et des sites éloignés.

9. Recherche et développement

Le volet recherche est pris en charge par l'Institut National de la Recherche Forestière qui participe activement au programme de lutte contre la désertification. Une station de recherche spécialisée dans ce domaine est installée à Djelfa.

Les axes de recherche dans ce domaine portent sur (Yagoubi et Temar, 1997) :

- Les phénomènes de désertification.
- L'inventaire et la multiplication des ressources phyto-génétiques sahariens et sub-sahariens.
- La mise au point des techniques mécaniques et biologiques de lutte contre l'envahissement des sables.
- Connaissance et dynamique de la végétation pastorale et forestière.
- Travaux sur la biologie des espèces adaptées à la sécheresse et à la salinité.
- Sélection et amélioration des espèces végétales performantes.
- Recherche sur la protection contre les parasites et maladies des espèces utilisées dans les reboisements.
- Introduction d'espèces nouvelles dont le jojoba et le prosopis.
- Diversification des espèces de reboisement en fonction de l'utilisation et des conditions écologiques et économiques.

En matière de développement et de valorisation des écosystèmes steppiques et sahariens, L'INRF intervient à la demande de ses partenaires par l'assistance technique et scientifique dans des projets d'étude et de développement d'envergure régionale et nationale.

Les résultats de recherche dans les domaines de la lutte contre la désertification sont diffusés à travers les annales de la recherche forestière et par la revue technique forestière.

De plus des séminaires, journées d'études et sessions techniques sont organisées régulièrement sur les sites pilotes de recherche.

10. Lutte contre la désertification

Les techniques de lutte contre la désertification ont fait l'objet de nombreuses recherches. Il n'existe malheureusement aucune solution scientifique toute faite pour contrôler la désertification, et personne n'est en mesure de fournir une réponse simple. Il existe cependant de nombreuses solutions partielles mises au point pour des conditions particulières dans des régions précises. Les solutions sont spécifiques de chaque lieu et de chaque situation. Elles reposent sur le contrôle des causes de la dégradation des terres. D'une manière générale, les techniques et les méthodes de lutte contre la désertification peuvent être réparties en quatre catégories correspondant à des stratégies différentes et complémentaires (Benguerai, 2011):

- Les méthodes correctives qui visent à arrêter un phénomène, et à réparer les dégradations subies. On peut citer, la fixation des dunes, la lutte contre l'ensablement, les techniques antiérosives et de conservation des eaux et des sols, les reboisements, mais aussi les techniques de réhabilitation des écosystèmes.
- Les techniques permettant de mieux exploiter les ressources, d'en accroître la productivité, d'améliorer leur régénération. Elles correspondent à la

formulation de pratiques améliorées et adaptées pour l'agriculture, l'élevage, l'usage de la biomasse et des sols.

- La mise au point de modèles de gestion intégrée des ressources. Cela porte sur la résolution des conflits, la création de lieux de négociation et de décision, l'établissement de règles de gestion, et de sécurisation de l'accès aux ressources.
- La mise en place de mécanismes institutionnels et politiques propices au développement économique et à la préservation des ressources naturelles. Parmi ceux-ci l'établissement de législations et de réglementations, la mise en place d'incitations économiques et fiscales, le développement d'infrastructures, le renforcement des ressources humaines.

La lutte contre la désertification et la dégradation des terres s'inscrivent dans une approche globale des problèmes d'environnement et de développement. La viabilité des actions entreprises pour lutter contre la dégradation des terres est souvent conditionnée par l'accroissement et la diversification des ressources permettant une élévation du niveau de vie des populations. Une stratégie efficace visant à réduire ou à arrêter la dégradation des terres devra prendre en compte les critères de développement durable.

10.1. Barrage Vert



Photo 04 : Barrage vert dans la région de Djelfa (Mohammed Keriaty et Rehim ,2016)

Le barrage vert est constitué par la partie présaharienne comprise entre les isohyètes 300 mm au Nord et 100 à 200 mm au Sud. De conception essentiellement forestière dans sa première formulation, il consistait en un reboisement massif des espaces dégradés sur les 3 millions d'ha. L'intervention était jugée prioritaire compte tenu d'une part de la sensibilité à la désertification et d'autre part des possibilités de remontée biologique qu'elle recèle. A la suite de la révision du projet en 1994, l'objectif fondamental devint alors le rétablissement écologique du milieu par une exploitation rationnelle des ressources naturelles à travers une approche intégrée avec pour finalité la promotion économique et sociale des populations (GEF/PNUD, 2010).

Ce projet a permis :

- La reconstitution des massifs forestiers dégradés de l'Atlas saharien avec le traitement d'une superficie de 300 000 ha.

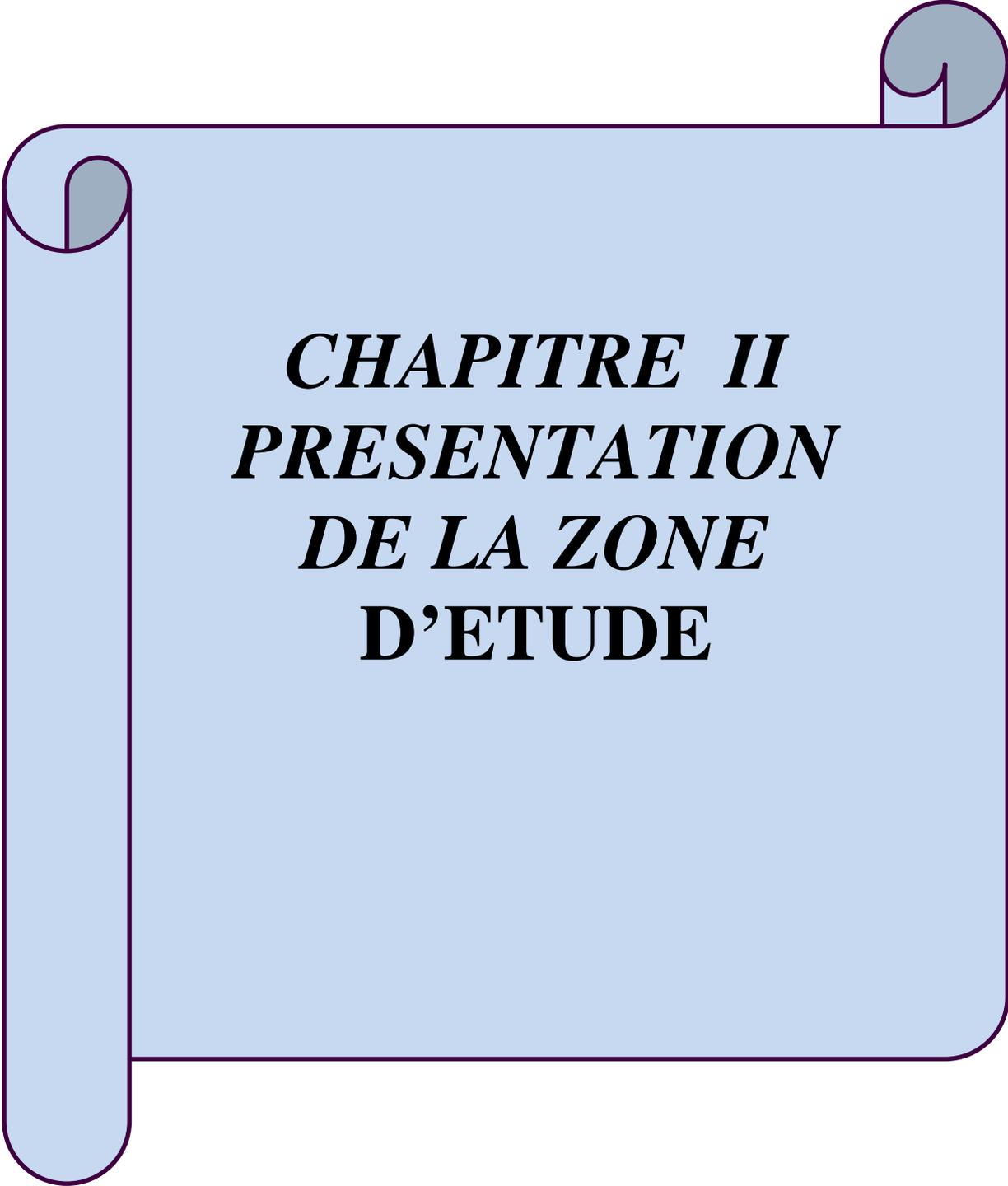
- La protection des centres de vie et des infrastructures socio-économiques contre l'ensablement par la fixation de dunes et les ceintures vertes sur près de 5 000 ha.
- Les aménagements et les plantations pastorales pour augmenter l'offre fourragère sur 25 000 ha.
- Le désenclavement des populations par la mise en place de réseaux de pistes sur plus de 5 000 km.
- La mobilisation de la ressource hydrique au profit des populations à travers la réalisation de 90 points d'eau.

11. Conclusion

Dans ce chapitre, on a entamé le côté théorique de notre sujet, précisément quelques définitions.

Après plus d'un demi-siècle d'indépendance, le processus de désertification des zones aride ne s'est pas arrêté et s'est même amplifié. Cela est dû à plusieurs facteurs dont le principal est naturels et anthropiques. Comme le reste du monde, la désertification qui touche une partie importante du territoire algérien.

Les politiques de lutte contre la désertification ont été nombreuses et diversifiées, des actions ont été entreprises par les autorités telles que « le Barrage Vert », les mises en place de coopératives pastorales, la mise au point de modèles de gestion intégrée des ressources et des programmes de mises en valeur des terres...etc.



CHAPITRE II
PRESENTATION
DE LA ZONE
D'ETUDE

1. Introduction

Nous abordons dans ce chapitre le contexte géographique, géologique et hydroclimatique de la région de Djelfa.

L'étude du contexte physique facilite notre compréhension du phénomène étudiée et d'interpréter les résultats. On se réfère à l'étude de l'ensemble des paramètres géologique, hydrologique, et climatique impliqués dans le cycle de l'eau.

2. Cadre général de la zone d'étude

2.1. Situation géographique

La wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au-delà des piémonts Sud de l'Atlas Tellien en venant du Nord dont le chef-lieu de wilaya est à 300 Km au Sud de la capitale (DPAT, 2003). Elle est comprise entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35° de latitude Nord, s'étend sur 32280 Km² (ANDI, 2013). Elle est limitée par (figure 01):

- Au Nord par les wilayas de Médéa et de Tissemsilt.
- A l'Est par les wilayas de M'Sila et de Biskra.
- A l'Ouest par les wilayas de Laghouat de Tiaret.
- Au Sud par les wilayas de Ouargla, d'El oued de Ghardaïa

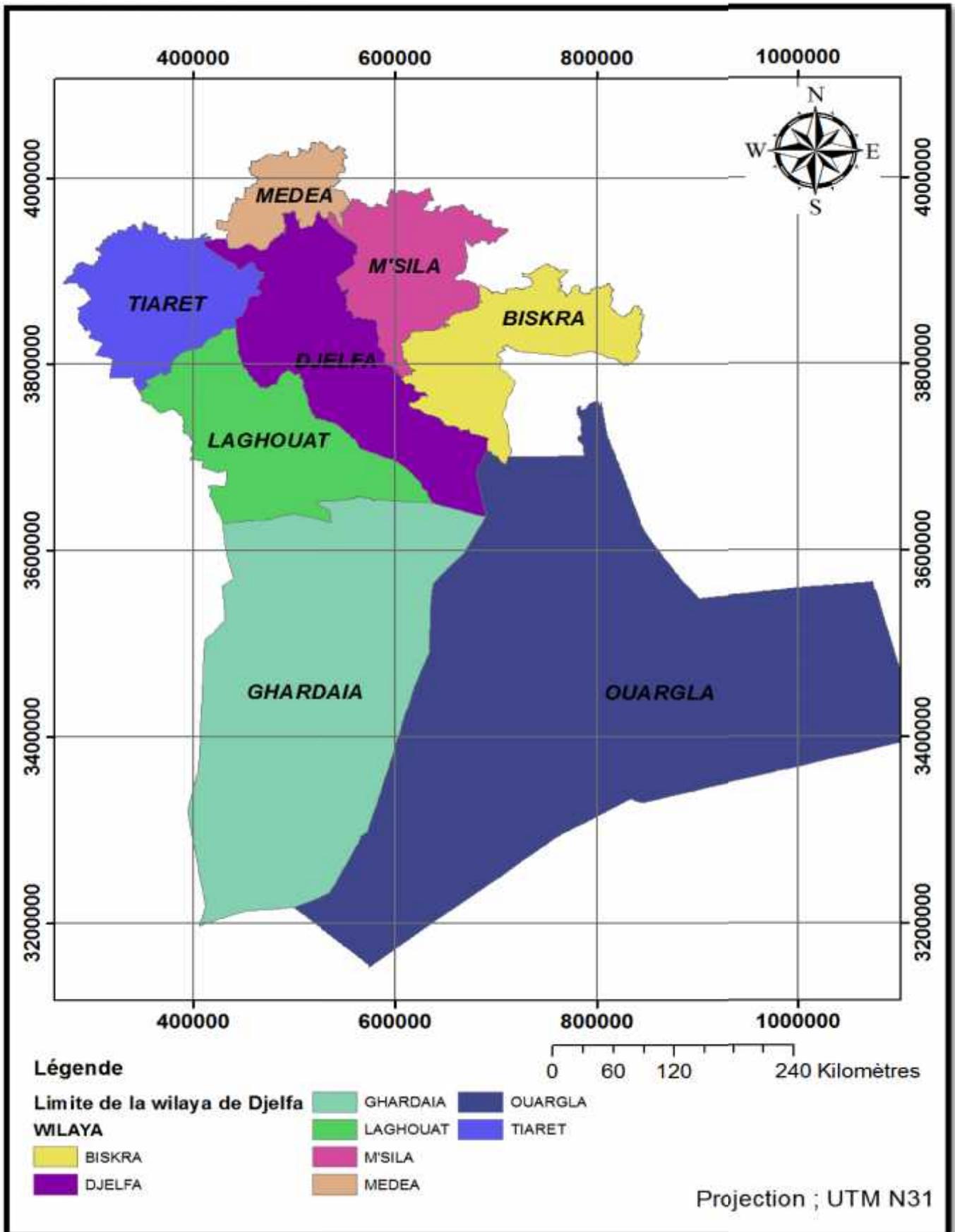


Figure 01: Situation géographique de la wilaya de Djelfa (Boutalba et Chetoui, 2016).

2.2. Situation démographique

2.2.1. Structure de la population

La Wilaya comptait une population estimée à 1.205.357 habitants. La commune du chef-lieu de Wilaya compte une population de l'ordre de 341.248 habitants représentant 28.31% de la population totale. La densité moyenne de la wilaya s'élève à 37.37 habitants /km² (ANDI, 2013).

2.3. Potentialités hydrauliques

2.3.1. Eau superficielle

Le réseau hydrographique de la wilaya est en grande partie endoréique. Il est constitué principalement (ABHCZ, 2013) :

- Au Nord, le bassin versant du haut Cheliff qui chaîne les dépressions de la région de Ain Oussera.
- Au Centre, le bassin fermé des chotts qui collecte, outre les eaux de la dépression des Oued Nail.
- Au Sud, le bassin de l'Oued Djedi qui collecte les eaux de ruissellement du versant Sud de l'Atlas Saharien.

2.3.2. Eau souterraine

Les nappes les plus connues sont (ABHCZ, 2013):

- Les nappes alluviales de l'Oued Touil et de l'Oued Ouark
- Le synclinal de Djelfa
- Les nappes de Zahrez

2.4. Géologie

Le synclinal de Djelfa qui représente une vaste structure régulière est constitué par les successions géologiques suivantes :

Le crétacé inférieur, épaisses séries en grande partie continentale, formées par des dépôts calcaires, marnocalcaires et marnocalcaire-argileux. Le trias composé d'argile et de gypse. Le sel joue un rôle fondamental de par son extension et sa forte teneur (Aidi, 2014).

2.5. Relief

La zone étude est caractérisée par la succession de 04 zones non homogènes du Nord au Sud de son territoire (DPAT, 2003).

2.5.1. Zone plane de Nord (650 - 850 m d'altitude)

Cette zone est appelée aussi (la plaine de Ain Oussera) compartimentée en trois secteurs séparés par des collines érodées : la vallée de l'Oued Touil à l'Ouest, la plaine de Birine à l'Est et le plateau de Ain Oussera au Centre.

2.5.2. Zone des dépressions des Chotts (750 - 850 m d'altitude)

Les dépressions des Chotts ou Sebchas sont séparées l'une de l'autre par un simple nivellement topographique.

2.5.3. Zone de la dépression d'Ouled Nail (1200 - 1600 m d'altitude)

Formée de petite plaine dont les plus importantes sont celles de Maalba et de Mouilah à l'Est de la ville de Djelfa.

La partie haute est constituée de la chaîne montagneuse de Ouled Nail. Cette chaîne est formée des principaux monts qui sont le "Djebel Sinalba, Djebel Azrag, et Djebel Zergga".

2.5.4. Zone de plateau prédésertique ou plateau saharien (400-700 m d'altitude)

Se situe dans la partie sud de la wilaya, elle plonge dans la dépression formée par l'Oued Djedi qui considéré comme la limite naturelle du Sahara.

2.6. Pédologie

2.6.1. Types du sol

Il y a différents types de sol comme ci-dessous (Boutalba et Chetoui, 2016):

2.6.1.1. Sols squelettiques

Ce sont des sols peu évolués de très faible profondeur et sont soumis à une érosion continue.

2.6.1.2. Sols d'accumulation calcaire et gypseuse

Ces sols riches en calcaire et en gypse, sous leurs différentes formes (croûte, encroûtement, diffus, etc....).

2.6.1.3. Sols salés

Ces sols peuvent être différenciés en deux catégories :

- Sols excessivement salés : ils occupent le centre des dépressions des Zahrez et sont dépourvus de toute végétation. Ces zones sont exploitées dans la collecte du sel de table .
- Les sols modérément salés : ils sont situés à la périphérie des sebkhas et portant une végétation steppique spécifique utilisée comme pâturage.

2.6.1.4. Sols à vocation agricole

Selon leurs situations, nous distinguons les sols:

- Des vallées
- D'épandage de crue
- Des dayas et des lits des Oued
- Les dayas du Sud
- Les dayas du Nord

2.7. Végétations**2.7.1. Forêts**

- Les forêts occupent les chaînes de montagnes du Séalba, du Djebel Azreg et du Djebel Boukahil.
- Les forêts sont claires et aérées par manque de sous bois conséquent et l'inexistence de maquis. Les principales essences forestières sont : Pin d'Alep, Chaîne verte, Genévrier du phénicien (Arar) (Boutalba et Chetoui, 2016).

2.7.2. Reboisements

Les espèces ont été utilisées sont (DPAT, 2003):

Tamarix, *Atriplex canescens*, Olivier de bohême. En plus à ces arbustes, on a les arbres :

- Pin d'Alep, Chêne vert, Chêne liège , Cyprès de l'Atlas et Genévrier.

2.7.3. Formations steppiques

Formation à base de graminées vivace (Alfa ,Sparte, Drin) et à base de chamaephyte vivaces (Armoise blanche, Armoise champêtre, Zefzef).

Globalement les superficies utilisées comme parcours représente 82 % de la superficies total de la wilaya (DPAT, 2003).

2.8. Faune terrestre

Les espèces animales constituant la faune de la Wilaya de Djelfa sont :

- Le sanglier, le lièvre, la perdrix, le hérisson, l'outarde, la tortue.
- D'autres espèces existant encore en de très faible quantité ou en voie de disparition (CETIM, 2008).

3. Aperçu climatique

Le climat de la Wilaya de Djelfa est nettement semi- aride à aride avec une nuance continentale sur recommandation de l'office national de météorologie, il a été pris en considération les données de la station d'observation météorologique de Djelfa sont les suivantes :

3.1. Précipitations

3.1.1. Précipitation moyenne mensuelle :

Les moyennes mensuelles des précipitations sont représentées dans la figure 02 :

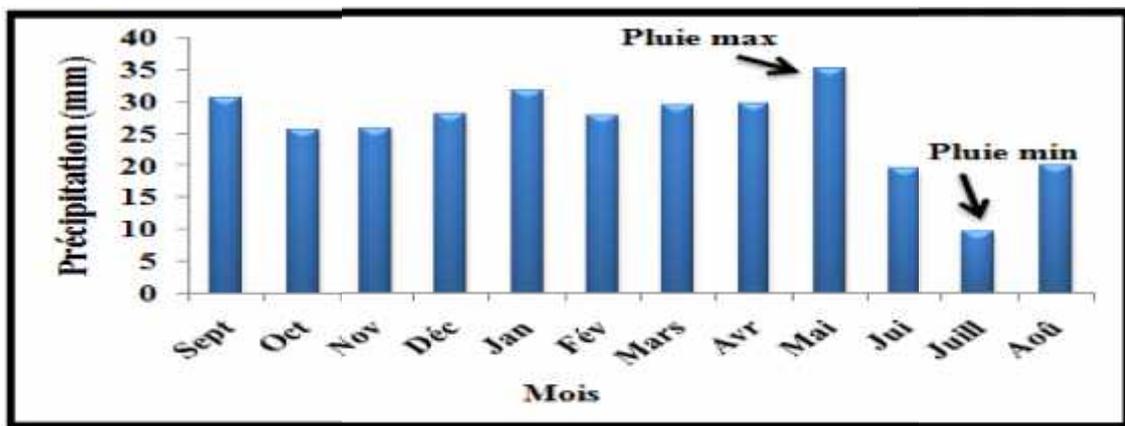


Figure 02 : Moyennes mensuelles des précipitations sur une période (1984-2013).
(Source : ONM, 2016).

L'analyse de moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Djelfa sur une période s'étalant de (1984-2013), fait ressortir un maximum en mois de Mai (34.93 mm) et une quantité plus ou mois considérable au mois de Janvier (31,39 mm) avec un minimum en mois de Juillet (9.59 mm).

3.1.2. Précipitation annuelle :

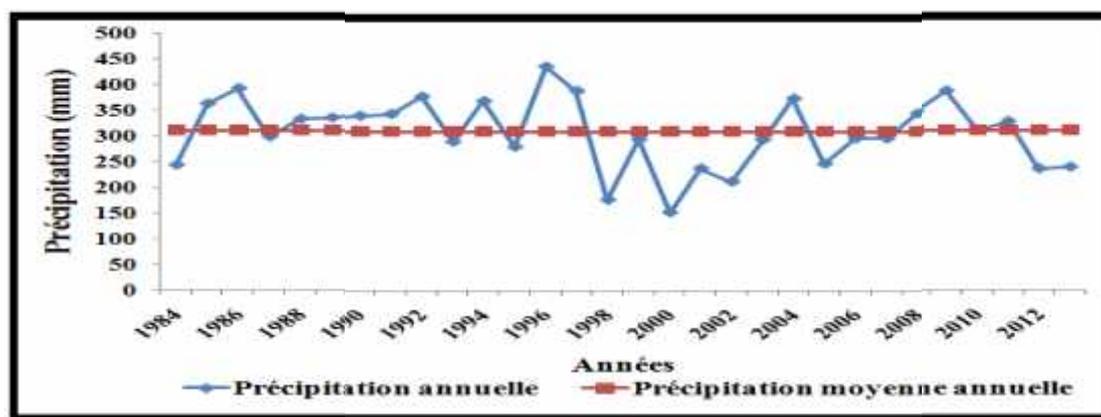


Figure 03 : Variation annuelles de la pluviométrie (1984-2013).(Source : ONM, 2016).

D'une manière générale, la pluviométrie est marquée par une grande irrégularité d'une année à une autre. En effet, on constate pour la période 1984-2013 que les pluies annuelles sont variées de 438,8mm en 1996 à 152,2mm en 2000 avec une moyenne annuelle de 310,98 mm/an.

3.2. Température

3.2.1. La variation de la température

La température est un paramètre climatique déterminant qui intervient dans toutes les formules utilisées pour l'estimation de l'évapotranspiration, la variation des températures mensuelles minimales, moyennes et maximales sur une période de 30 ans soit de 1984 à 2013 et qui sont représentées dans la figure ci-dessous :

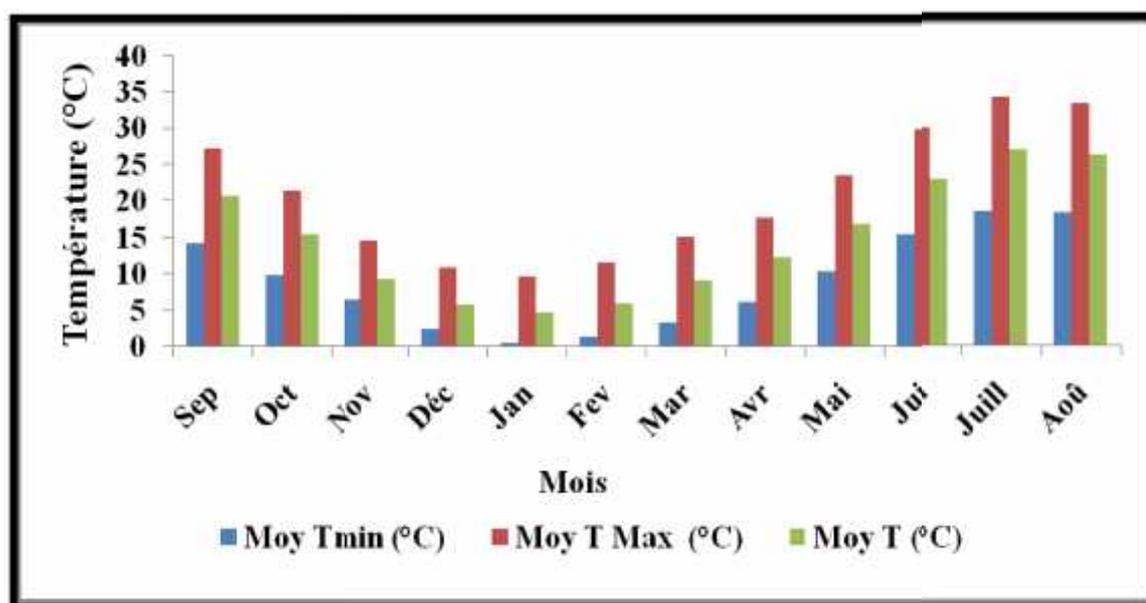


Figure 04 : Variation moyennes mensuelles de la température.(Source :ONM,2016)

Moy T min (°C) : moyenne mensuelles minimas de la température en degré Celsius.

Moy T Max (°C) : moyenne mensuelles maximas de la température en degré Celsius.

Moy T (°C) : température moyenne mensuelle en degré Celsius.

L'analyse de la moyenne mensuelle des maxima montre que les mois plus chaude s'étale de Juin à Septembre, elles atteignent un maximum au mois de Juillet avec 34.1 °C et l'analyse de la moyenne mensuelle des minima montre que le mois de Janvier et le mois de Février sont les mois les plus froid avec respectivement 0.48 °C et 1.45 °C, pour les températures moyenne mensuelle on remarque les contraintes suivantes : froid en hiver et chaleur en été.

3.2.2. Amplitude thermique

Les amplitudes thermiques représente l'écart entre les températures moyennes maximales et les températures moyennes minimales, ils sont enregistrés pendant la période (1984-2013) qui représentées dans la figure suivante :

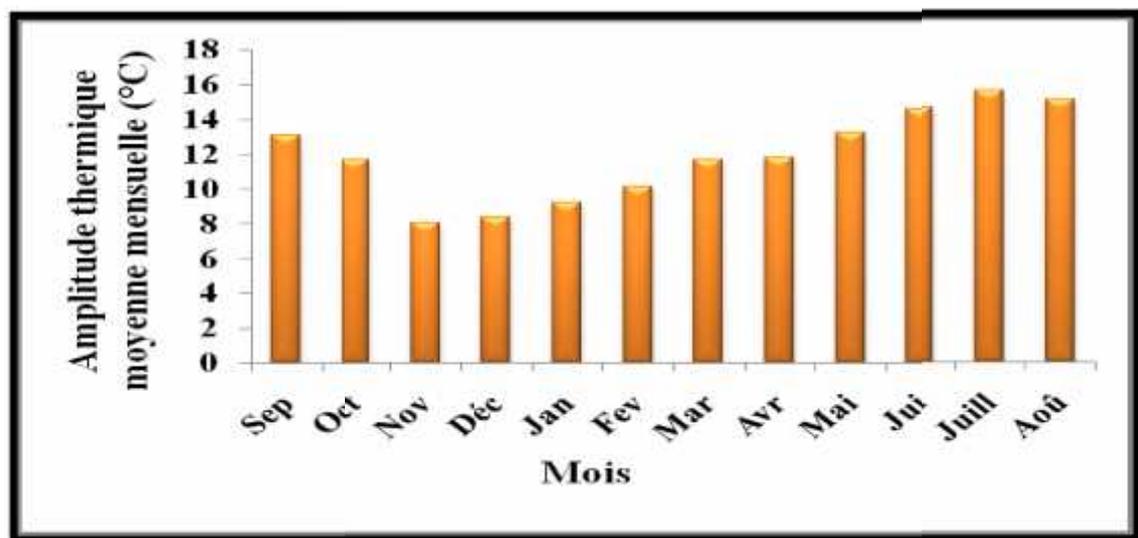


Figure 05 : Amplitude thermique moyenne mensuelle (°C).(1984-2013).
(Source : ONM, 2016)

L'amplitude thermique est relativement forte, elle est de 14.57 °C en mois de Juin, 15.54 °C en mois de Juillet et 15.03 °C en mois d'août avec des valeurs plus ou moins importantes au cours des autre mois.

3.3. Le vent

Selon Oldache (1988), le vent est le principal agent climatique qui concourt au fonctionnement des paysages arides et désertiques. Par son action, le vent agit en tant qu'agent d'érosion, de transport et d'accumulation. La principale caractéristique des vents dominants est matérialisée par la fréquence du Sirocco d'origine désertique chaud et sec, dont la durée peut varier d'une zone à une autre de 20 à 30 jours par an. (Guerrache, 2010).

La moyenne mensuelle des vitesses du vent est visualisée dans la figure suivante :

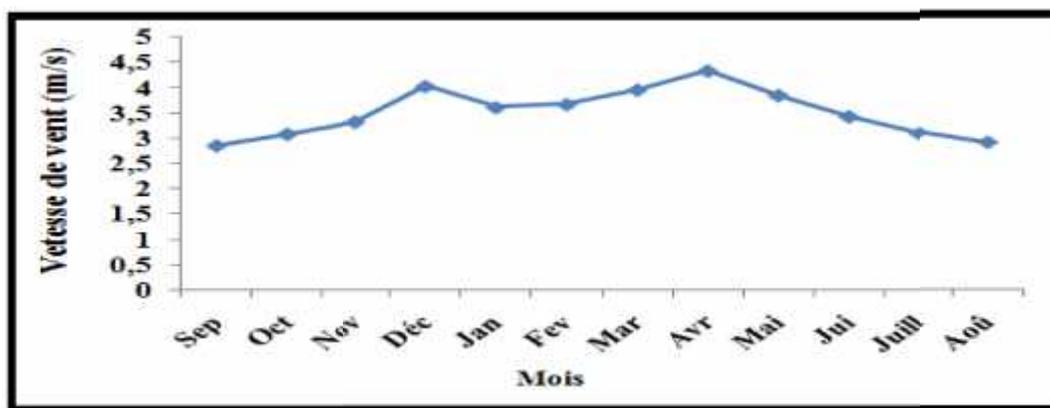


Figure 06 : La variation moyenne mensuelle des vents (m/s). (1984-2013).
(Source : ONM, 2016).

Après l'analyse des variations annuelles des vents sur la période considérée, on remarque que la vitesse moyenne mensuelle varie généralement entre 2,89 m/s et 4.03 m/s, avec une vitesse moyenne mensuelle de 3.51 m/s. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées en mois d'Avril (4.34 m/s) et Décembre (4,03 m/s).

Pour cette période ; selon l'ONM la direction des vents annuels est généralement Sud-Ouest (SW). Les vents dominants proviennent essentiellement de l'Ouest et du Nord -Ouest en hiver et du Sud-Ouest en été. Ces derniers sont parfois violents, du fait de leur circulation sur des espaces ouverts sans aucuns obstacles physiques favorisant ainsi le phénomène de la désertification (l'avancée du désert) (Guerrache, 2010).

4. Régime climatique

4.1. Quotient pluviothermique d'Emberger :

Emberger (1955) a élaboré un quotient climatique désigné par Q2. Celui-ci comporte les éléments du climat qui sont prépondérants pour la végétation. Pour définir les divers types de bioclimat de la région méditerranéenne, Emberger (1933-1955) propose la formule suivante (Guerrache , 2010) :

$$Q2 = \frac{P}{\frac{(M+m)}{2} (M-m)} * 1 \dots\dots\dots(II.1)$$

Q₂ : quotient pluviométrique d'Emberger.

P : pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en Kelvin.

m : moyenne des minima du mois le plus froid en Kelvin.

M-m : amplitude thermique.

On reporte pour notre cas la valeur du quotient pluviothermique ($Q_2 = 31.85$) avec :

- Précipitation moyenne annuelle ($P = 310.98 \text{ mm}$).
- Moyenne des maxima du mois le plus chaud. $M = 34.1 + 273 = 307.1 \text{ Kelvin}$
- Moyenne des minima du mois le plus froid. $m = 0.47 + 273 = 273.47 \text{ Kelvin}$

Le report de la région de Djelfa sur la figure 07 permet de confirmer que l'étage bioclimatique de notre région est de type semi-aride avec hiver frais.

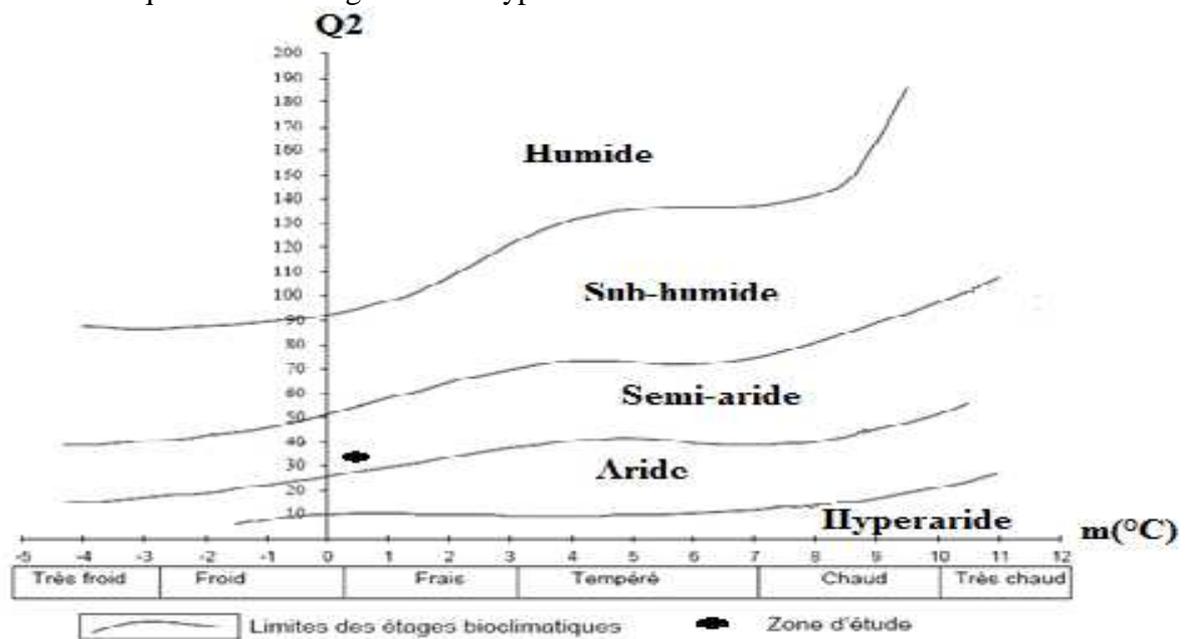


Figure 07 : Situation de la station de Djelfa sur Climagramme d'Emberger.

4.2. Déficit d'écoulement ou Evapotranspiration

Elle est définie comme étant l'ensemble des pertes par transformation de l'eau en vapeur quel que soit le facteur mis en jeu. Autrement dit, c'est la somme de l'évaporation (phénomène physique) et de la transpiration du couvert végétale (phénomène biologique). On distingue l'évapotranspiration réelle et l'évapotranspiration potentielle. L'évaluation de ces paramètres est effectuée par des formules empiriques (Maoui, 2007).

4.2.1. Evapotranspiration Réelle ETR

C'est la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée. Pour son évaluation, plusieurs formules empiriques ont été mises en évidence, telles que la formule de TURC.(Boutalba et Chetoui, 2016).

4.2.1.1. Formule de TURC (1954)

ETR = f (P, T) établie à partir des observations faites sur 254 bassins versants situés sous tous les climats du globe, l'expression suivante (Remenieras, 1980) :

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}} \dots\dots\dots(II.2)$$

P : précipitation moyenne annuelle.

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \dots\dots\dots(II.3)$$

T : température moyenne annuelle (°C).

ETR : évapotranspiration réelle (mm).

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 03: Calcule de l'ETR par la formule de Turc (annuel)

Paramètre Station	T(°C)	L	P (mm)	ETR(mm)
Station de Djelfa	14.73	828.1	310.89	304.71

Avec une température moyenne annuelle de 14.73 °C et une hauteur annuelle de précipitation de 310.89 mm sur une période de 30 ans, l'application de cette formule donne une valeur d'ETR égale à 304.71 mm.

4.2.1.2. Formule de THORNTHWAITE (1944)

$$E = F(m, \phi) \cdot 1 \left(\frac{1 + (m)}{I} \right)^a \dots\dots\dots(II.4)$$

$$I = \frac{1}{m-1} \bar{i}(m) \dots\dots\dots(II.5)$$

$$i(m) = \left(\frac{I(m)}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = (0.016 * I) + 0.5 \dots\dots\dots(II.6)$$

ETP : évaporation potentielle moyenne du mois m ($m = 1$ à 12) en (mm).

F(m,) : facteur correctif fonction du mois m et de la latitude

T(m): température moyenne mensuelle (°C).

I : indice thermique annuel.

i(m) : indice thermique mensuel.

Les résultats obtenus d'évaporations potentielles moyennes mensuelles calculées par la formule de THORNTHWAITE à la station de Djelfa sur une période de 30 ans (1984-2013) sont insérés dans la figure 08 au dessous :

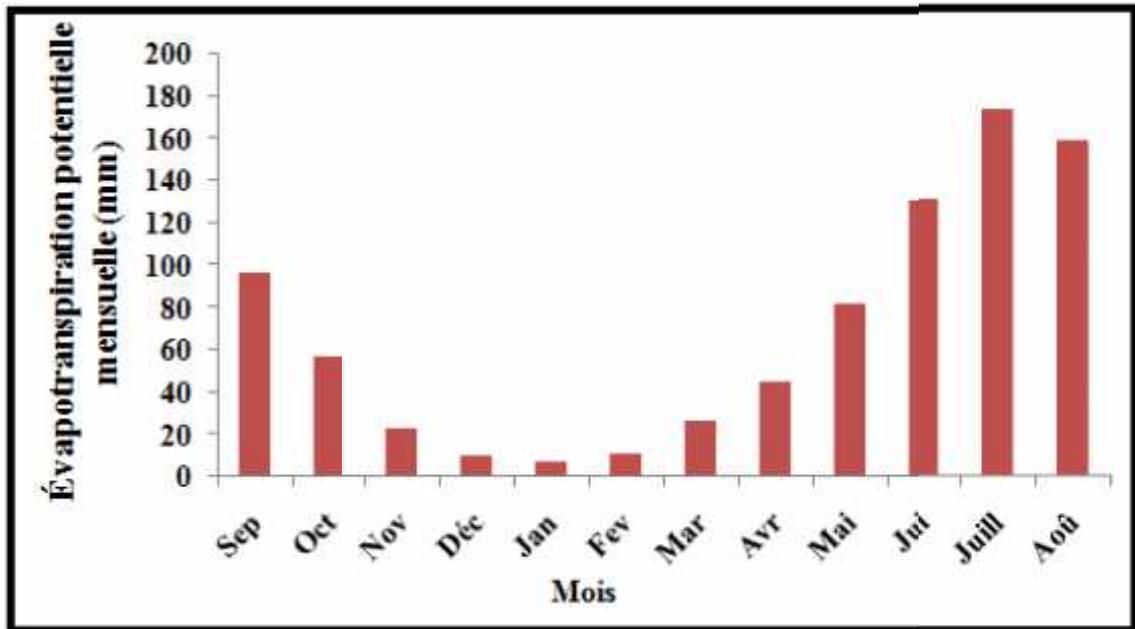


Figure 08 : La variation moyenne mensuelle de l'évaporation potentielle.
(Source : ONM, 2016).

Il apparaît que les variations saisonnières sont bien marquées avec un minimum dans la période hivernale observée au mois de Janvier de l'ordre de 7.79 mm, et l'évaporation pendant les mois de Juin, Juillet et Août est élevée, alors que l'évaporation maximale enregistrée durant la période sèche atteignant une valeur de 173.18 mm au mois de Juillet .L'évaporation annuelle est de l'ordre de 822.89 mm.

5. Conclusion

On peut conclure d'après les traitements des données recueillies à l'Office National de Météorologie de Djelfa durant la période de 1984-2013, que notre zone d'étude présente des caractères nuancés avec une tendance aride prononcée, due à la position géographique, comprise entre les influences du Sud et celle de la méditerranée au Nord.

De cet aperçu, nous pouvons conclure ce qui suit :

- 1) Reliefs :
 - Zone plane de Nord.
 - Les dépressions présentes dans la région sont des Chotts.
 - Zone de la dépression d'Ouled Nail.
 - Zone de plateau pré-désertique ou plateau saharien.
- 2) Les types des sols observés dans cette région sont : sols squelettiques, sols d'accumulation calcaire et gypseuse, sols salés et sols à vocation agricole.
- 3) Les principales essences forestières sont : Pin d'Alep, Chaîne verte.
- 4) Le climat méditerranéen qui est le semi-aride est confirmé par un nombre de caractéristiques :
 - Une pluviométrie moyenne annuelle est de 310,98 mm.
 - Une saison estivale chaude et sèche avec température moyenne maximales 34.1°C et un hiver très froid, température moyenne minimale respectivement 0.48 °C.
 - Des vents fréquents favorisant le transport éolien avec une direction dominante Ouest et Nord -Ouest en hiver et Sud-Ouest en été, la force des vents varie dans l'ensemble de 2,89 à 4.03 m/s, durant l'année à l'exception des mois d'avril 4.34 m/s et décembre 4,03m/s enregistre des vents forts.
 - L'évaporation pendant les mois de Juin, Juillet et Août est élevée avec une valeur maximale de 173.18 mm au mois de Juillet, et observée une valeur minimale durant la période hivernal au mois de Janvier de 7.79 mm. Tandis que l'évaporation annuelle est de l'ordre de 822.89 mm.



CHAPITRE III
MATERIELS ET
METHODES

1. Introduction

Dans ce chapitre on va exposer les indicateurs qui caractérisent la sécheresse climatique par des données climatiques telle que (Précipitation et Température) ce qui permet d'étudier l'évolution temporelle des indices climatiques.

2. Origine des données

Les données pluviométriques proviennent de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM). Elles sont enregistrées à partir de 03 stations météorologiques (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) réparties dans la région de Djelfa sur une période de 26 années (1984-2009). Pour le traitement statistique des données climatologiques nous utilisons les méthodes issues du calcul d'un certain nombre d'indices. Les indicateurs sont les suivants :

- Indice standardisé de précipitation « SPI »
- Indice de déficit pluviométrique « IDP »
- Calcul de l'Effective Drought Index « EDI »
- Indice de saisonnalité « IS »
- Indices de concentration des précipitations « PCI »
- Indice modifié de Fournier « IMF »

Pour le calcul d'autres indicateurs climatiques, nous utiliserons, uniquement, les données climatiques (Précipitation et Température) de la station de Djelfa sur une période de 30 années (1984-2013), étant donné le manque de données climatiques sur les deux autres stations celle de Ain Maabd et celle de Mergueb Ben Haffa, les indicateurs à calculer sont comme suit :

- Indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe « S »
- Indice d'aridité de De Martonne « I »
- Bilan climatique « BC »

2.1. Stations Météorologiques de la région de Djelfa

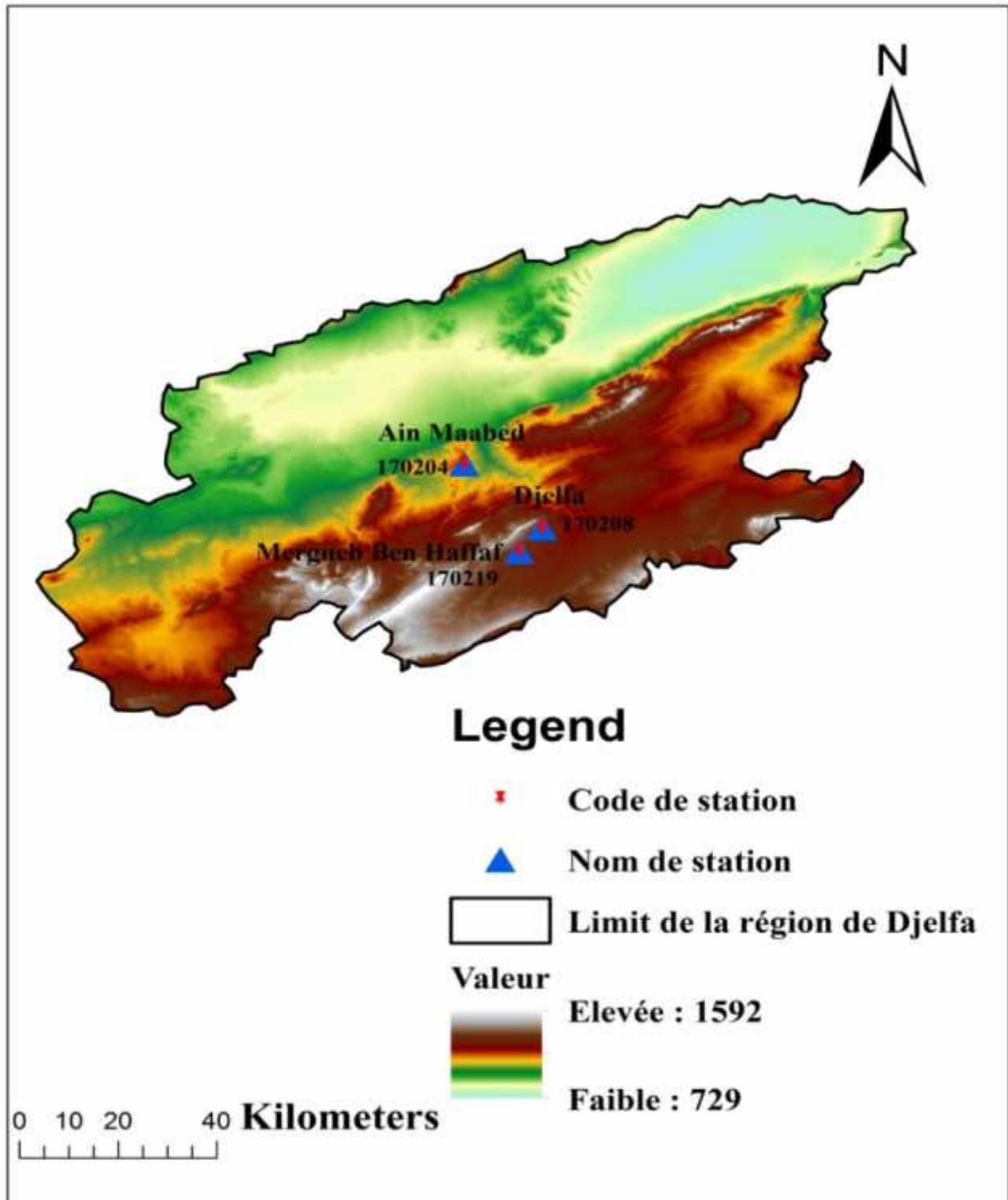


Figure 09 : Position des trois (3) stations pluviométriques dans la région de Djelfa.

Tableau 04:Inventaire des stations pluviométriques.

Caractéristiques géographiques Nom de la station	Période d'observation	Code	X (km)	Y (km)	Altitude (m)
Djelfa	1984-2009	170208	551	153	1180.5
Ain Maabed	1984-2009	170204	539.6	167.4	1040
Mergueb Ben Haffaf	1984-2009	170209	545.35	148.55	1230

(Source : Ali Rahmani , 2015)

3. Logiciels utilisés

Dans notre étude, nous avons utilisé les outils statistiques et les logiciels suivants :

- **Excel** : celui-ci nous a permis d'établir, de mieux gérer notre base de données et de réaliser toutes les courbes qui figurent dans la présente étude et pour les calculs des moyennes annuelles à partir des moyennes mensuelles données par les stations météorologiques, pour la période d'étude(1984-2009), ainsi que pour le calcul de l'écart type et les calculs des indices climatiques.

- **HYDROLAB 2010** : le logiciel HYDROLAB est un programme développé , pour la première fois, par Laborde en 1998, écrit en basic et présenté sous forme de macros sur Excel (Hamenni, 2015).

- **Khronostat** : c'est un logiciel d'analyse statistique de séries chronologique développé par Jean-François Boyer à l'IRD-Maison des Sciences de l'eau, 1998. Il est employé pour de nombreuses études (Djamaladine et Mahamat, 2014).

4. Critique des données

4.1. Méthode de comblement des données par l'HYDROLAB

Le comblement de données de pluie au pas de temps mensuelle a été réalisé le plus correctement possible en fonction du temps disponible et du nombre de stations.

Pour les besoins de l'étude et pour une bonne répartition spatiale, nous avons procédé au comblement des lacunes en utilisant le logiciel HYDROLAB par la technique de Bouche trou en utilisant les étapes suivantes à partir des données pluviométriques de trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa):

- 1) Lancer le programme HYDROLAB 2010.

2) Puis choisie Tab Comblement.xls et ouvrir le fichier, suivi par les étapes suivant :



3) Après cette dernière étape, on change les valeurs manquantes dans la série des données pluviométriques par les résultats de Comblement des lacunes.

4.2. Méthode de calcul des pluies classées

Après avoir comblé les lacunes dans les données, on peut passer à une nouvelle phase qui est celle de l'inférence statistique : il s'agit de voir quels tests statistiques s'applique le mieux à nos valeurs.

Nous disposons de 26 années de données ce qui permet pour les calculs d'utiliser directement les moyennes annuelles. Mais avant de tester les différentes distributions possibles, il faut vérifier si le jeu de données qui va être employé a bien un caractère aléatoire et simple, ce qui n'est pas forcément le cas. Pour vérifier cela, on dispose de divers tests.

4.2.1. Tests statistiques de détection de rupture

Une approche statistique a été réalisée par Khronostat pour nous aider à mieux analyser les précipitations annuelles : les tests de détection des ruptures. Tout d'abord, une rupture dans une série chronologique peut être assimilée à un changement dans la loi de probabilité de la série à un instant donné, le plus souvent inconnu (Djamaladine et Mahamat, 2014).

On a soumis les chroniques de pluies annuelles aux différents tests disponibles dans le logiciel Khronostat.

4.2.2. Analyses statistiques

Le traitement statistique des séries pluviométriques a porté essentiellement sur l'analyse d'éventuelles modifications statistiques au sein des séries chronologiques.

Parmi les procédures statistiques souvent utilisées dans des études des séries météorologiques, trois sont mis en œuvre. Elles ont été largement utilisées pour l'étude de la stationnarité de séries chronologiques (Hallouz, 2013).

Ces tests ont été réalisés via le logiciel Khronostats (utilisé par IRD en 2002) et qui sont :

- La procédure Bayésienne de Lee et Heghinian.
- Le test de Pettit.
- La procédure de segmentation d'Hubert.

A) Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian

La méthode fournit la probabilité que le changement se produise à un moment t, dans une série chronologique où on suppose à priori qu'il y a effectivement un changement à un moment indéterminé. De même, cette procédure donne une estimation de la probabilité que l'amplitude du changement ait la valeur du changement éventuel de la moyenne (Hallouz, 2013).

B) Test de Pettit

La série étudiée est divisée en deux sous-échantillons de tailles m et n. Les valeurs des deux échantillons sont classées par ordre décroissant. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque sous-échantillon dans l'échantillon total.

Une statistique est définie à partir des deux sommes ainsi déterminées, et testée sous l'hypothèse nulle d'appartenance des deux sous-échantillons à la même population.

Soit la série chronologique (xi), avec i = 1, N et soit l'hypothèse nulle « l'absence de rupture dans la série ».

La mise en œuvre du test suppose que pour tout instant t variant de 1 à N, les séries (xi), avec i = 1, t et (xij), avec j = t+1, N appartient à la même population, soit

$$D = s: (X_i - X_j)a \quad (X) = 1s > 0, 0s = 0, -1s < 0 \dots \dots(III.1)$$

On considère la variable Ut, N telle que :

$$U_{t,N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij} \dots \dots \dots(III.2)$$

Soit K_N la variable définie par le maximum en valeur absolue de $U_{t,N}$ pour t variant de 1 à N-1.

Si k désigne la valeur de K_N prise sur la série étudiée, sous l'hypothèse nulle, la probabilité de dépassement de la valeur k est donnée approximativement par :

$$P(K_N > k) = \frac{2e^{-6k^2}}{N^3 + N^2} \dots \dots \dots (III.3)$$

Pour un risque de première espèce donné, si Prob ($K_N > k$) est inférieure à α , l'hypothèse nulle est rejetée (Hallouz, 2013).

C) Procédure de segmentation d’Hubert

Une procédure de segmentation des séries hydrométéorologiques a été proposée par Hubert et al en 1989. Le principe de cette procédure est de « découper » la série en m segments ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s).

Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de la moyenne.

La segmentation est définie de la façon suivante :

Toute série x_i , $i = i_1, i_2$ avec $i_1 \geq 1$ et $i_2 < N$ où (i_1, i_2) constitue un segment de la série initiale des (x_i) , $i = 1, \dots, N$.

Toute partition de la série initiale en m segments est une segmentation d'ordre m de cette série. A partir d'une segmentation particulière d'ordre m pratiquée sur la série initiale, on définit :

- $i_k, k = 1, 2, \dots, m$;
- $n_k = i_k - i_{k-1}$, la longueur du $k^{\text{ème}}$ segment ;
- \bar{x}_k la moyenne du $k^{\text{ième}}$ segment ;

$$\bar{X}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} X_i}{n_k} \dots \dots \dots (III.4)$$

D_m , l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée,

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \dots \dots \dots (II .5)$$

Avec : $d_k = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2 \dots \dots \dots (II .6)$

Cet écart permet d’apprécier la proximité de la série et de la segmentation qui lui est appliquée. La segmentation retenue doit être telle que pour un ordre m de segmentation donné, l'écart quadratique D_m soit minimum. Cette condition est nécessaire mais non suffisante pour la détermination de la segmentation optimale. Il faut lui adjoindre la contrainte selon laquelle les moyennes de deux segments contigus doivent être significativement différentes. Cette contrainte est satisfaite par application du test de Scheffé qui repose sur le concept de contraste .Par conséquent si lors du processus de segmentation d’ordre $m+1$, aucune segmentation produite n’est valide au sens du test de Scheffé, la segmentation de la série qui est retenue en tant que meilleure segmentation est la segmentation optimale d’ordre m (Hallouz ,2013).

D'après les auteurs (Hubert et Carbonnel, 1989), cette procédure de segmentation peut être interprétée comme un test de stationnarité, "la série étudiée est stationnaire" constituant l'hypothèse nulle de ce test. Si la procédure ne produit pas de segmentation acceptable d'ordre supérieur ou égal à 2, l'hypothèse nulle est acceptée. Aucun niveau de signification n'est attribué à ce test.

5. Etude de la sécheresse via les indices climatiques

5.1. Indice standardisé de précipitation « SPI »

Le SPI, développé en 1993 par McKee et qui a été employé par de nombreux auteurs sur diverses régions du globe.

Le SPI est un indice de sécheresse basé sur la probabilité de précipitation mensuelle à n'importe quelle échelle de temps allant de un mois à 48 qui rendent compte de l'incidence de la sécheresse sur les disponibilités en eau. Leur calcul est basé sur la distribution des pluies sur de longues périodes, de préférence d'une durée supérieure à 50 ans, si non une durée requise minimale de 30 ans. Les valeurs du SPI positives indiquent les périodes humides et les valeurs négatives indiquent les périodes sèches, (Amroune, 2014). Il peut être calculé à différentes échelles de temps (1, 3, 12, 24 et 48 mois). (Bousoufi et Mousli, 2015).

Tableau 05 : Sévérité du SPI (Selon McKee et al ,1993)

Classes SPI	Interprétations
2.0 et plus	Extrêmement Humide (EH)
1.50 à 1.99	Très Humide (TH)
1.0 à 1.49	Humide (H)
-0.99 à 0.99	Normale (N)
-1.0 à -1.49	Modérément Sec (MS)
-1.50 à -1.99	Sévèrement Sec (SS)
-2.0 et moins	Extrêmement Sec (ES)

(Source : McKee et al ,1993)

On détaille le travail pour le calcul du SPI-3M (SPI sur une période de 3 mois) SPI-1M (SPI de 1 mois) et SPI-12M (SPI sur une période de 12 mois ou une année) qu'on retrouve souvent dans la littérature :

- Pour chaque station, on a sommée les précipitations sur 3 mois ou saisonnière (Automne, Hiver, Été et Printemps), mensuelle et 12 mois sur les 26 années.
- Chaque valeur (de précipitations sommées) est alors transformée en une valeur normalisée.

Cela permet finalement de voir, ici pour n'importe quel groupe de 3 mois ou 12 mois ou 1 mois, si à une station donnée, il s'agit d'une période plutôt humide ou sèche comparée au reste de la période étudiée.

Il est exprimé mathématiquement comme suit (Achir et Hellal ,2016) :

$$S = \frac{P - P_m}{\delta} \dots\dots\dots (II . 7)$$

Avec :

SPI : Indice standardisé de précipitation.

Pi : Moyenne inter-annuelle (mm).

δ : Ecart type de la série (mm).

Pm : Moyenne de la série (mm).

5.1.1. Avantages et inconvénients

Il est possible de résumer les avantages et les inconvénients que présente l’indice SPI comme suit (OMM ,2012):

A) Avantages

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

B) Inconvénients

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

5.2. Indice de déficit pluviométrique « IDP»

L’indice de déficit pluviométrique (IDP) permet aussi de montrer et de calculer le nombre des années déficitaires et leur succession. Une année est qualifié d’humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu’il est négatif. Il s’exprime par la formule suivante (Achir et Hellal, 2016) :

$$II \quad (\%) = \frac{P - P_m}{P} \quad 1 \quad \dots\dots\dots (III.8)$$

Avec :

IDP : indice de déficit pluviométrique (en pourcentage).

P_i : précipitation annuelle (en mm).
P_m : précipitation moyenne annuelle (en mm).

5.3. Calcul de l’Effective Drought Index « EDI »

L’Effective Drought Index est une fonction de la PRN (Précipitation needed for a Return to Normal) **ie** la précipitation pour combler le déficit accumulé depuis le début de la sécheresse. On a les relations suivantes, où **j**: est la durée de la sommation réelle (**ie** la durée de sommation fictive **i** (=365 jours ici) plus la durée sèche, voir Byun et Wilhite (1999)) et **ST(PRN)** l’écart type de la PRN (Hallouz et Meddi, 2016):

$$E = \frac{P}{S(P)} \dots\dots\dots(III.9)$$

On va calculer la PRN (avec **i** la durée de sommation fictive (365 jours ici), P_m la précipitation de m-1 jours avant, MEP la moyenne des EP de chaque années).

$$P = D / \sum_{N=1}^i \left(\frac{1}{N}\right) \dots\dots\dots(III.10)$$

$$DEP=EP-MEP \dots\dots\dots(III.11)$$

La première chose à faire est donc de calculer pour chaque année la valeur d’EP (Effective Précipitation). Si **i=365** par exemple,

$$EP2= P1+ (P1+P2)/365 \dots\dots\dots(III.12)$$

Tableau 06 : Classes associées à l’EDI

Effective Drought Index (EDI)	Description
-0.69 à 0	Sécheresse légère
-0.7 à - 1.49	Sécheresse modérée
-1.5 à -2.49	Sécheresse sévère
<-2.5	Sécheresse extrême

(Source: Hallouz et al, 2016)

5.4. Indice de saisonnalité « SI »

Une manière de représenter la saisonnalité des précipitations est de recourir à une expression analytique de celle-ci, Walsh et Lawler ont ainsi proposé en 1981 un indice relatif de saisonnalité basé sur les différences entre les quantités de précipitations mensuelles et une situation de référence où les précipitations sont réparties de façon uniforme durant l’année. Cette relation s’écrit ainsi (Ghenim et al, 2013) :

$$S = \frac{1}{P_a} \sum_{i=1}^{12} \left| P_m - \frac{P_a}{12} \right| \dots\dots\dots(III.13)$$

Avec :

SI : représente l’indice de saisonnalité.

$\overline{P_m}$ et $\overline{P_u}$: désignent respectivement la moyenne mensuelle et annuelle de la pluviométrie pour la période considérée.

Tableau 07 : Echelle d’appréciation de la saisonnalité.

SI	Saisonnalité
0.19	Très uniforme
0.20 – 0.39	Uniforme avec une saison humide définie
0.40 – 0.59	Plutôt saisonnière, avec une saison sèche courte
0.60 – 0.79	Saisonnière
0.80 – 0.99	Nettement saisonnière avec longue saison sèche
1.00 – 1.19	Maximum de pluie en 3 mois au moins
1.19	Extrême, maximum de pluie en 1 à 2 mois

(Source : Ghenim et al, 2013)

5.5. Indices d’agressivité de la pluviométrie

La variabilité et l’agressivité de la pluviométrie au cours de l’année hydrologique sont estimées respectivement par l’indice de concentration des précipitations (PCI) introduit par Oliver (1980) et l’indice de Fournier modifié (IFM) proposé par Fournier (1960) et modifié par Arnoldus (1980) (Ghenim et al, 2013). Ils s’écrivent :

$$P = 1 \times \frac{1}{i-1} \frac{P_i^2}{(P_i)^2} \dots\dots\dots(III.14)$$

$$IF = \frac{1}{i-1} \frac{P_i^2}{P} \dots\dots\dots(III.15)$$

Les classes des indices (PCI et IFM) respectivement dans le tableau 07 et 08.

P_{mi} et **P_a** désignent respectivement la hauteur mensuelle du mois *i* et la hauteur annuelle de l’année considérée.

Tableau 08 : Echelle d’appréciation de la concentration des pluies selon l’indice PCI (Précipitation Concentration Index).

PCI	Concentration
8.3 – 10	Uniforme
10 – 15	Modérément saisonnière
15 – 20	Saisonnière
20 -50	Fortement saisonnière
50 -100	Irrégulière

(Source : Ghenim et al, 2013)

Tableau 09: Echelles d’appréciation de l’agressivité des pluies selon l’indice IFM (Indice de Fournier Modifié).

IFM	Agressivité
0 – 60	Très faible
60 – 90	Faible
90 – 120	Modéré
120 – 160	Forte
160	Très forte

(Source : Ghenim et al, 2013)

5.6. Indice de sécheresse estivale d’Emberger-Giacobbe « S »

A la suite de Giacobbe, Emberger (1943) a caractérisé l’intensité de la sécheresse estivale par un indice (S), qui est le rapport des précipitations estivales (Pe) à la moyenne des maxima du mois le plus chaud (M). Si celui-ci est inférieur à 5, il y a sécheresse estivale (Hallouz et al, 2016).

$$S = \frac{P}{M} \dots\dots\dots(III.16)$$

5.7. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Bagnouls et Gausson (1957) ont déterminé la période sèche grâce à la combinaison dans un diagramme de deux courbes : celle des précipitations et celle des températures. Un mois est défini comme étant sec lorsque la pluviosité moyenne mensuelle est égale ou inférieure au double de la température moyenne mensuelle $P \leq 2T$, ceci apparaît graphiquement lorsque les 2 courbes se croisent, celle des précipitations passent au-dessous de celle des températures. (Gurreche, 2010).

5.8. Indice d’aridité de De Martonne « I »

En se basant sur des considérations essentiellement géographiques, De Martonne (1926) a défini l’aridité du climat à l’échelle annuelle par le quotient :

$$I = \frac{P}{T+1} \dots\dots\dots(III.17)$$

Avec :

- I** : Indice d’aridité de De Martonne.
- P** : précipitation moyenne annuelle en (mm).
- T** : température moyenne annuelle en (C °)

L’aridité augmente quand la valeur de l’indice diminue. Au niveau mondial De Martonne a proposé six grands types de macroclimat allant des zones désertiques arides ($I < 5$) aux zones humides à forêt prépondérante ($I > 40$).

En fonction des valeurs-seuils de cet indice, applicables aussi bien à l'échelle mensuelle qu'annuelle, De Martonne distingue divers bioclimats, voir (tableau 09) (Lebourgeois et Piedallu, 2005).

Tableau 10 : Valeurs de l'indice d'aridité de De Martonne et bioclimats correspondants.

Valeur de l'indice	Type de bioclimat	Valeur de l'indice	Type de bioclimat
0 – 5	Hyperaride (HA)	20 – 30	Subhumide (SH)
5 – 10	Aride (A)	30 – 40	Humide (H)
10 -20	Semi-aride (SA)	>40	Humide à forêt prépondérante (HFP)

(Source: Lebourgeois et Piedallu ,2005)

5.9. Bilan climatique « Bc »

Il traduit la succession d'excédents et de déficits en eau dans le complexe. Ainsi, le climat devient sec quand les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible .Le bilan climatique exprime donc la différence entre la somme des abats pluviométriques (P) et celle de l'évapotranspiration potentielle (ETP) (Ernest, 2011).

$$B = P - E \dots\dots\dots(III.18)$$

Avec :

Bc : bilan climatique.

P : Pluie.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

Ainsi :

- Le bilan climatique est excédentaire, si **P > ETP**.
- Le bilan est déficitaire, si **P < ETP**.
- Le bilan est équilibré quand **P = ETP**.

Lorsqu'il est positif, le surplus disponible participe à la recharge en eau du sol et à l'écoulement .Il a été calculé à partir des valeurs moyennes de P et ETP de la région de Djelfa entre 1984 à 2013. Ainsi, les valeurs d'ETP ont été estimées à l'aide de la méthode de Thornthwaite.

Ces valeurs ont été calculées au pas de temps mensuel selon les exigences de la méthode de Thornthwaite. En effet, les données de température disponibles qui ont servi à l'évaluation des ETP s'étendent sur la période 1984-2013.

Ces différentes données (pluies, températures et ETP) ont servi à l'étude de la variabilité des régimes pluviométriques de la région de Djelfa.

6. Conclusion

Les méthodes présentées dans ce chapitre sont les plus utilisées dans le cadre de l'analyse de la variabilité climatique et que nous avons adoptées pour notre étude.

Débutant par la collecte des données puis définir la méthodologie de travail nous commençons par le calcul des indices climatique pour tester la viabilité de cette variation par l'analyse de ces indices.



CHAPITRE IV
RESULTATS ET
DISCUSSIONS

1. Introduction

Ce chapitre résume les travaux finaux de notre étude, il s'agit de déterminer l'impacte de la variabilité climatique sur la désertification, en prenant comme référence les indices climatiques.

2. Résultats et discussions

2.1. Application des tests de rupture

2.1.1. Analyse de données des précipitations :

Les tests de rupture sont appliqués aux séries chronologiques annuelles observées pour les trois stations de Djelfa. Il est indispensable pour le test de rupture que les lacunes dans les séries soient comblées.

Tableau 11 : Test de détection de rupture sur les pluies annuelles

Nom de station	Période	Rupture	Moyenne	
			Avant	Après
Ain Maabed	1984-2009	1987**	/	/
Mergueb Ben Haffaf	1984-2009	2001*	/	/
		2004**	/	/
		2005***	129,7	252,9
Djelfa	1984-2009	2001*	/	/
		2001**	/	/
		2003***	142,2	263,6
		2008***	263,6	412

*Test de Pettit, **Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian, ***Segmentation de Hubert

Nous avons noté une rupture en 1987 détecté par la procédure Bayésienne dans la station d'Ain Maabed, et des ruptures à la hausse en 2005 dans la station de Mergueb Ben Haffaf et en 2003 et 2008 dans la station de Djelfa (tableau 10).

2.2. Déficits hydriques par l'indice de précipitation standardisé (SPI) :

Dans notre travail, pour apprécier l'impact de la variabilité climatique sur la désertification dans la région de Djelfa, on a déterminé l'évolution des degrés de sévérité de la sécheresse en utilisant l'indice de précipitation standardisé calculé à partir des séries pluviométriques de 26 années, au cours de la période 1984-2009, aux niveaux des trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) à l'échelle annuelle, saisonnière et mensuelle. Les résultats sont présentés comme suit :

2.2.1. Echelle annuelle

A) Station d'Ain Maabed :

Le graphe ci-dessous qui représente le SPI annuel pour la station d'Ain Maabed à partir des données recueillies durant 26 ans a permis de révéler les remarques suivantes :

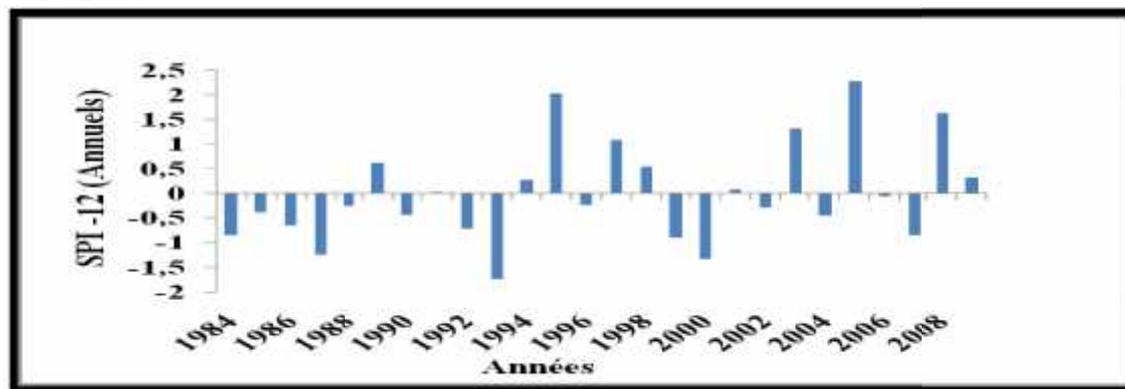


Figure 10 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI-12) à partir des précipitations recueillies dans la station météorologique d'Ain Maabed.

- ✓ La première période est sèche qui débute de 1984 jusqu'au 1993, avec une valeur sévèrement sec de -1.73 en 1993, sauf l'année 1989 est humide.
- ✓ La deuxième période de 1994 à 2009 marquée une alternance des années sèches et des années humides, autour des années 1995 et 2005, on note des valeurs extrêmement humides, avec 2.03 et 2.27.

B) Station de Mergueb Ben Haffaf

Le graphe ci-dessous qui représente le SPI annuel de la station Mergueb Ben Haffaf pour la période de 1984 à 2009, a permis d'observer deux périodes à savoir:

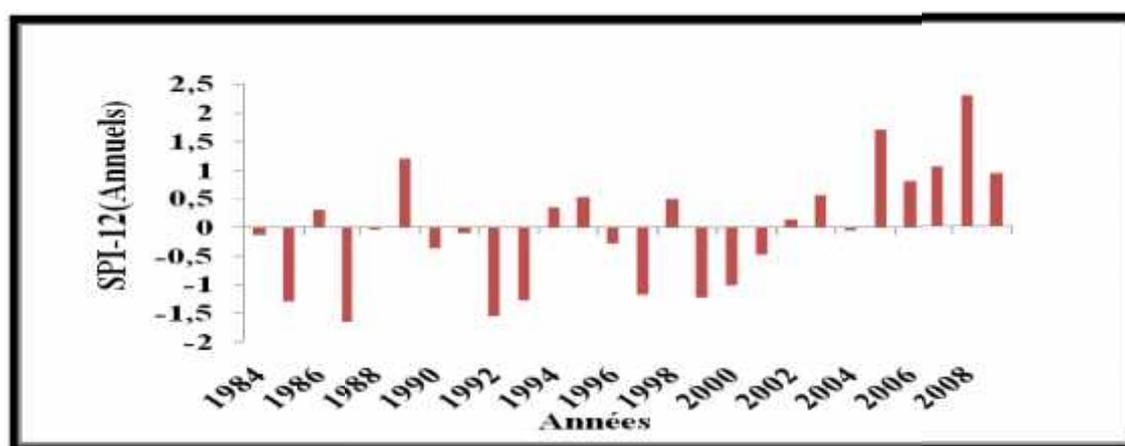


Figure 11 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI-12) à partir des précipitations recueillies dans la station météorologique de Mergueb Ben Haffaf.

- ✓ La première période de 1984 à 2001 est une période caractérisée par une alternance des années sèches et des années humides avec longue durée sèche de 13 années et de 5 années humides.

- ✓ La deuxième période de 2002 à 2009 marquée par le retour des années humides dont les valeurs du SPI positives indiquent que les précipitations annuelles sont supérieures à la moyenne. Cette période marquée par une valeur extrêmement humide de 2.28 en 2008 et une valeur très humide de 1.71 en 2005.

C) Station de Djelfa

La visualisation graphique, ci-dessous, du SPI annuel de la station de Djelfa a permis de déceler deux périodes à caractères différents :

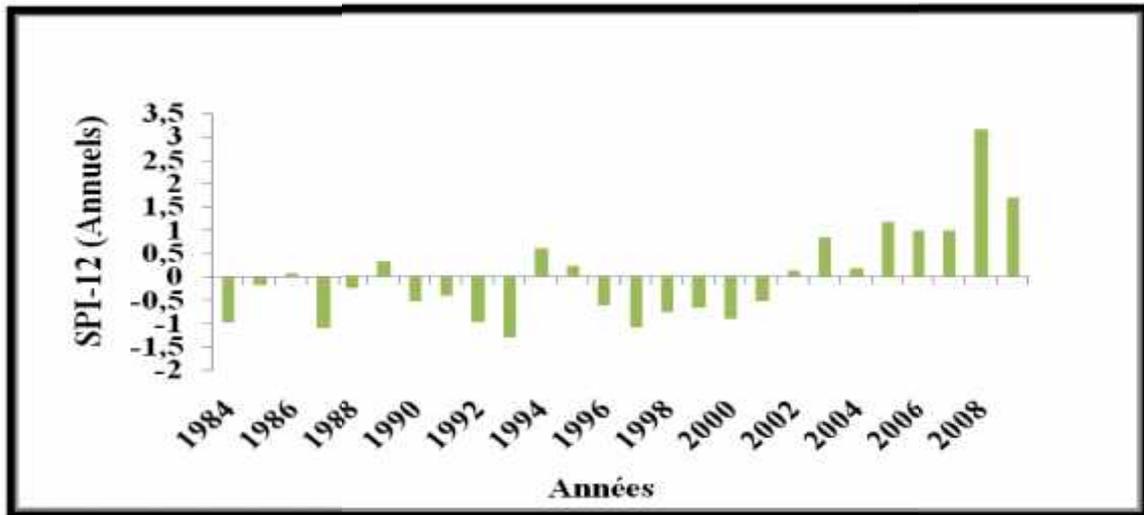


Figure 12 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI-12) à partir des précipitations recueillies dans la station météorologique de Djelfa.

- La première période de 1984 à 2001, montre qu'on a une dominance des années sèches bien remarquable dans cette période (1984-2001), sauf trois années humides (1989, 1994 et 1995).
- La deuxième période de 2002 à 2009 marquée par le retour des années humides, avec une valeur extrêmement humide de 3.13 en 2008.

En outre, selon les résultats du SPI annuel calculé, durant la période d'étude de (1984-2009), on enregistre deux phases :

A) Première phase

Un cycle de sécheresse est noté en début de cette période au niveau des trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa), à partir de 1984 et jusqu'en 1988, de 1990 à 1993 et de 1999 à 2002, cette phase de sécheresse climatique ponctuée par quelques années où la pluviométrie enregistre une humidité légère.

B)Deuxième phase

Un cycle humide commence à partir de 2002 jusqu'à la fin de cette période 2009 au niveau des trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) c'est un nouveau cycle pluviométrique marqué par une tendance générale humide, et plus remarquable durant l'année de 2008 qui constituants des valeurs extrêmement humides.

2.2.1.1. Caractérisation de la sécheresse

La distribution des valeurs calculées pour SPI annuel est classée selon la méthode proposée par (McKee et al ,1993) et présentée dans la figure ci-dessous, pour les trois stations représentatives de la région de Djelfa.

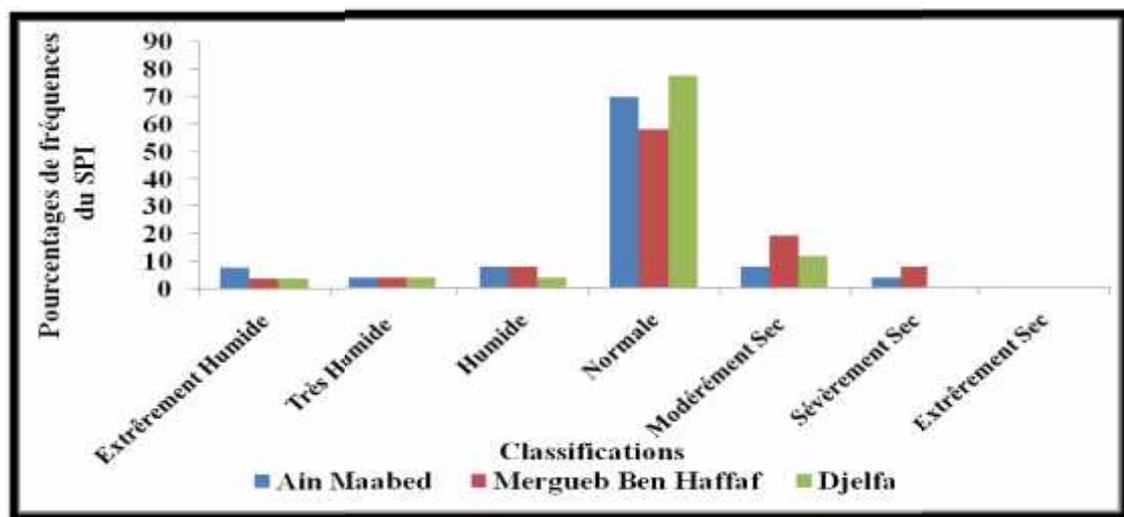


Figure 13 : Pourcentages des fréquences de l'indice de SPI annuel dans les stations (Djelfa, Mergueb Ben Haffaf et Ain Maabed) de (1984-2009).

On peut tirer les remarques suivantes :

1) Extrêmement Humide :

En utilisant l'indice de SPI, la probabilité d'occurrence d'une année extrêmement humide est très faible au niveau des stations de Djelfa et Mergueb Ben Haffaf environ 3,84 %, mais la station d'Ain Maabed environ 7,69 %.

2) Très Humide :

La probabilité d'occurrence d'une année très humide est très faible au niveau des trois stations étudiées environ 3,84 %.

3) Humide :

La probabilité d'avoir une année humide est faible au niveau de toutes les stations (inférieure à 8%).

4) Normale :

La probabilité d’occurrence d’une année normale est très forte au niveau des stations de Djelfa, Mergueb Ben Haffaf et Ain Maabed où elle dépasse les 50 %.

5) Modérément Sec :

La probabilité d’occurrence d’une année modérément sèche est faible pour toutes les stations, elle varie entre 7 % et 19 %.

6) Sévèrement Sec :

La probabilité d’occurrence d’une année sévèrement sec est faible 3.84% au niveau de station d’Ain Maabed et Mergueb Ben Haffaf 7.69%, voir nulle (0) à la station de Djelfa.

7) Extrêmement Sec :

La probabilité qu’une année soit extrêmement sèche est nulle (0) pour toutes les stations (Djelfa, Mergueb Ben Haffaf et Ain Maabed).

2.2.2. Echelle saisonnière

Les résultats de SPI à l’échelle saisonnière (SPI-3mois) dans les stations météorologique (Djelfa, Mergueb Ben Haffaf et Ain Maabed) qui représente dans les graphes ci-dessous :

A) Automne : on a enregistré durant la saison d’automne deux périodes :

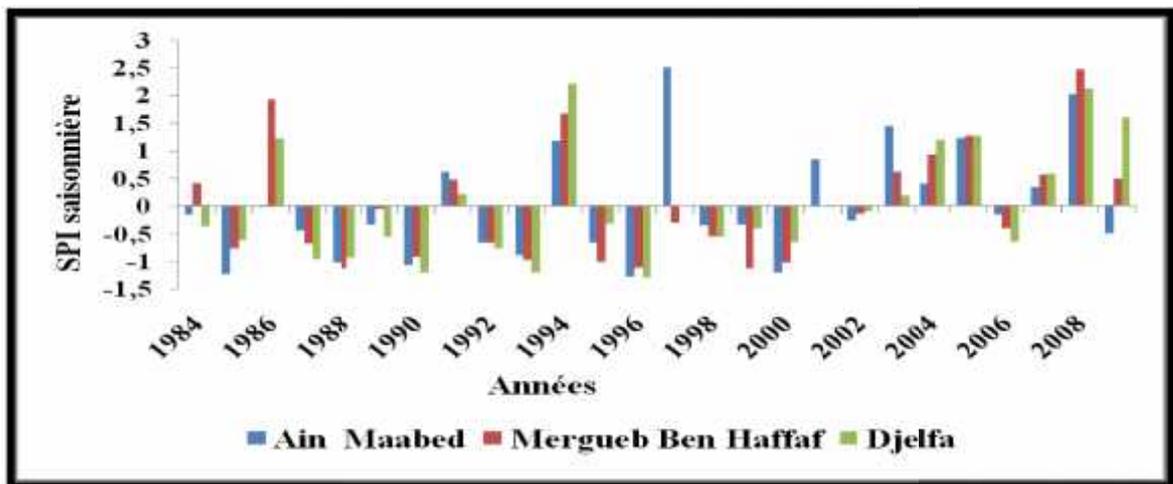


Figure 14 : Evolution de l’intensité de la sécheresse (SPI, d’Automne) dans les stations d’Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).

- La première période de 1984 à 2000 marquée par une période sèche et quelques années humides, avec des valeurs extrêmement humides de 2.20 en

1994 au niveau de la station de Djelfa et de 2.50 en 1997 au niveau de la station d'Ain Maabed.

- La deuxième période de 2001 à 2009 marquée par le retour des années humides, avec des valeurs extrêmement humides en 2008 au niveau de station d'Ain Maabed de 2.01, Mergueb Ben Haffaf de 2.46 et Djelfa de 2.11, sauf deux années sèches (2002 et 2006).

A) **Hiver** : on a remarqué deux phases:

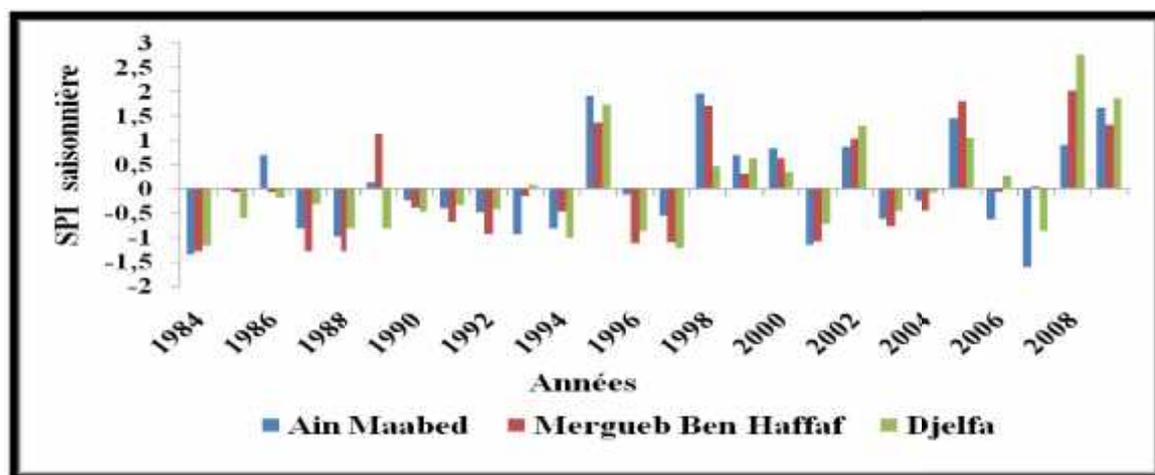


Figure 15 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI, Hiver) dans les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).

- La première phase de 1984 à 1994 est une période sèche sauf deux années humides à la station d'Ain Maabed en 1986 et en 1989 à la station de Mergueb Ben Haffaf).
- Deuxième phase de 1995 à 2009 enregistre une alternance des années sèches et des années humides, avec des valeurs extrêmement humides en 2008 au niveau de station de Mergueb Ben Haffaf de 2 et Djelfa de 2.74.

B) **Printemps** : on a remarqué également trois phase ;

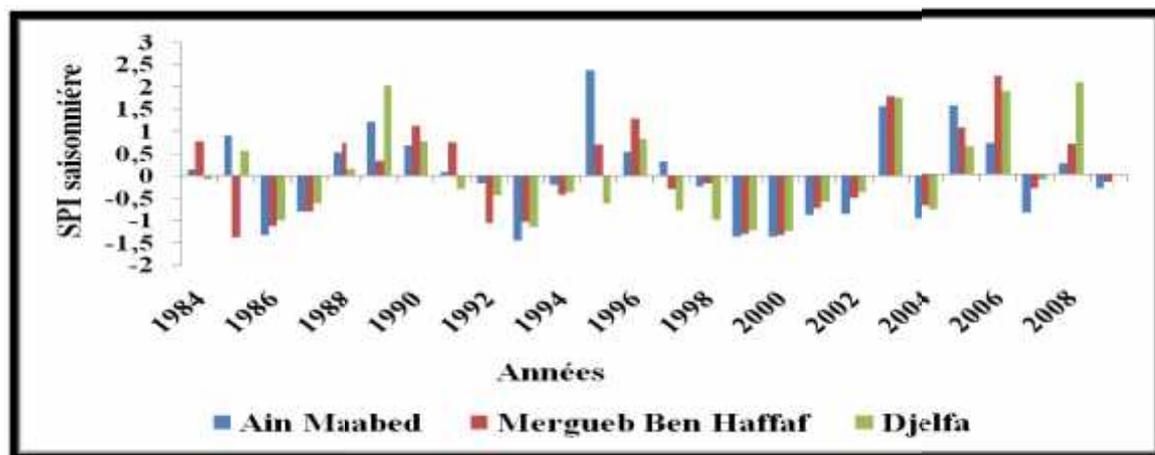


Figure 16 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI, Printemps) les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).

- Première phase de 1984 à 1996 qui caractérisé également par une alternance de trois années sèches et de trois années humides successivement, avec des valeurs extrêmement humides en 1989 au niveau de station Djelfa de 2.02 et en 1995 au niveau de station d'Ain Maabed de 2.37.
- Deuxième phase est une période sèche (1997-2002).
- Troisième phase de 2003 à 2008 qui caractérisé par une période humide plus remarquable, sauf les années 2004, 2007 et 2009 sont des années qui caractérisent par une sécheresse légère.

D) Été : cette saison se décompose en deux phases:

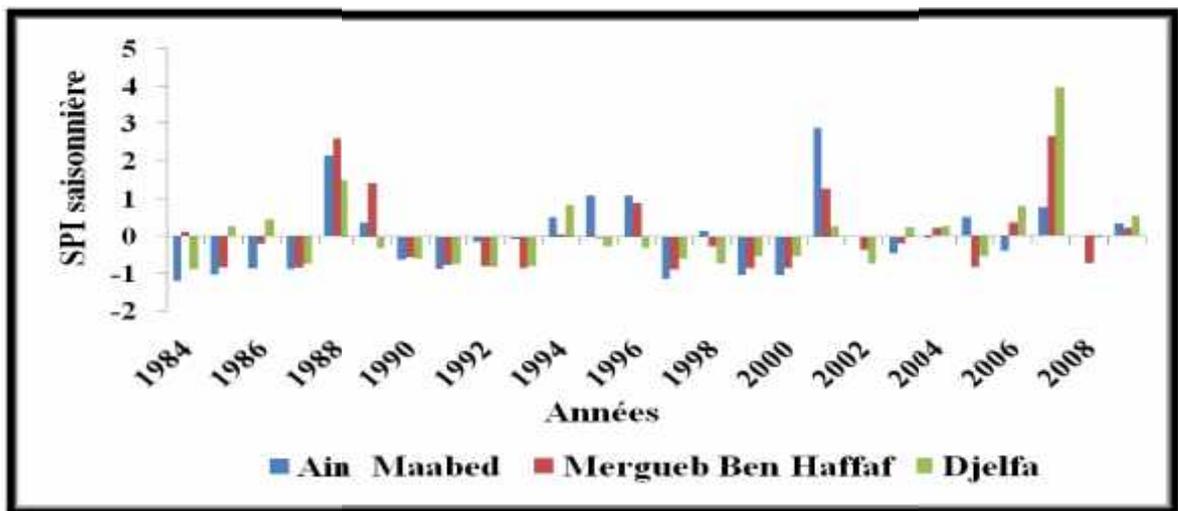


Figure 17 : Evolution de l'intensité de la sécheresse (SPI, Été) dans les stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa sur la période (1984 -2009).

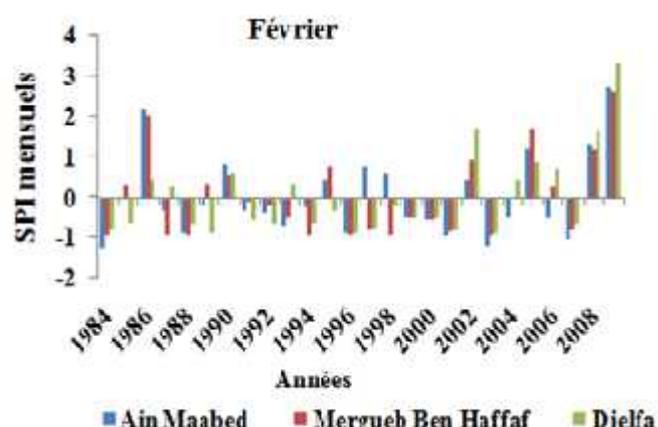
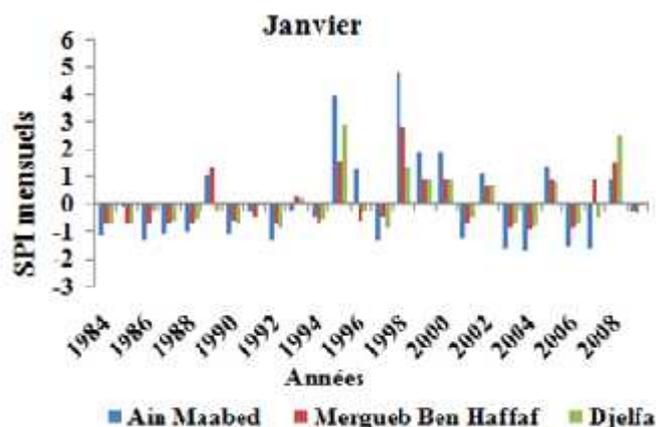
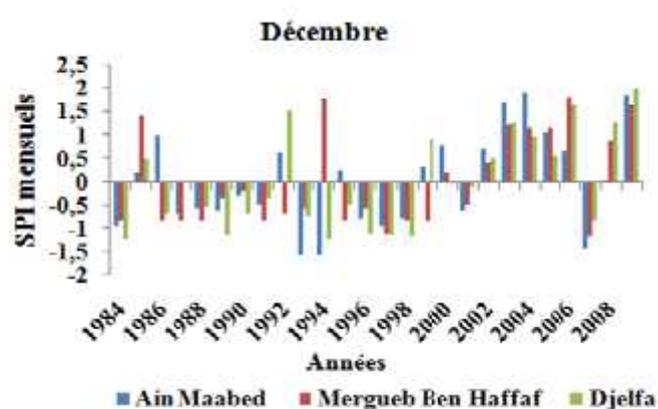
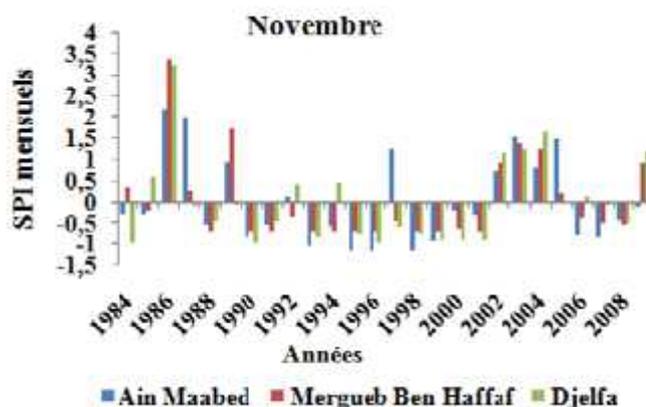
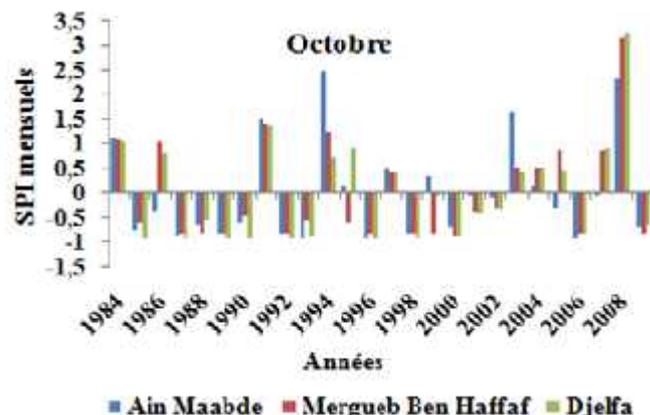
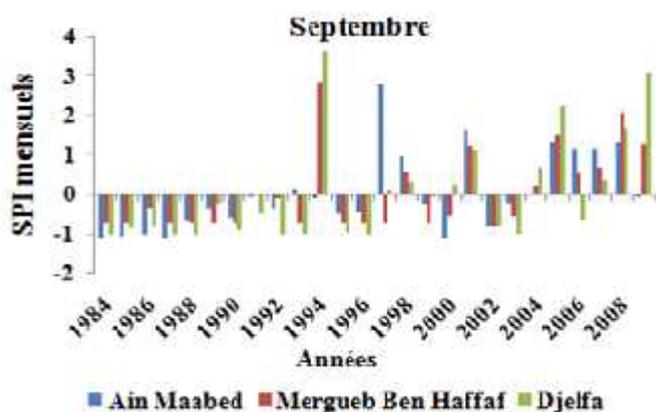
- Première phase qui est caractérisée par une alternance de quatre années sèches et deux années humides à successivement dans la période de 1984 à 2002 d'o un seuil de sécheresse légère dominante.
- Deuxième phase de 2001 à 2009 est une période sèche, sauf deux années humides avec des valeurs extrêmement humides à la station d'Ain Maabed de 2.92 en 2001, à la station de Djelfa de 3.95 et à la station de Mergueb Ben Haffaf en 2007.

Par conséquent, on peut conclure que :

- L'automne est caractérisé par une sécheresse modérée dominante et une humidité modérée pendant quelques d'années.
- Un hiver et un printemps qui sont caractérisés par une sécheresse modérée et une sécheresse légère durant toute la période d'étude.
- Le seuil d'une sécheresse légère dominante durant l'Été.

2.2.3. Echelle mensuelle

Les données pluviométriques enregistrées au niveau des stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) à travers l'indice standardisé de précipitation à l'échelle mensuelle ont montré l'évolution de l'intensité de la sécheresse durant la période de 1984 à 2009.



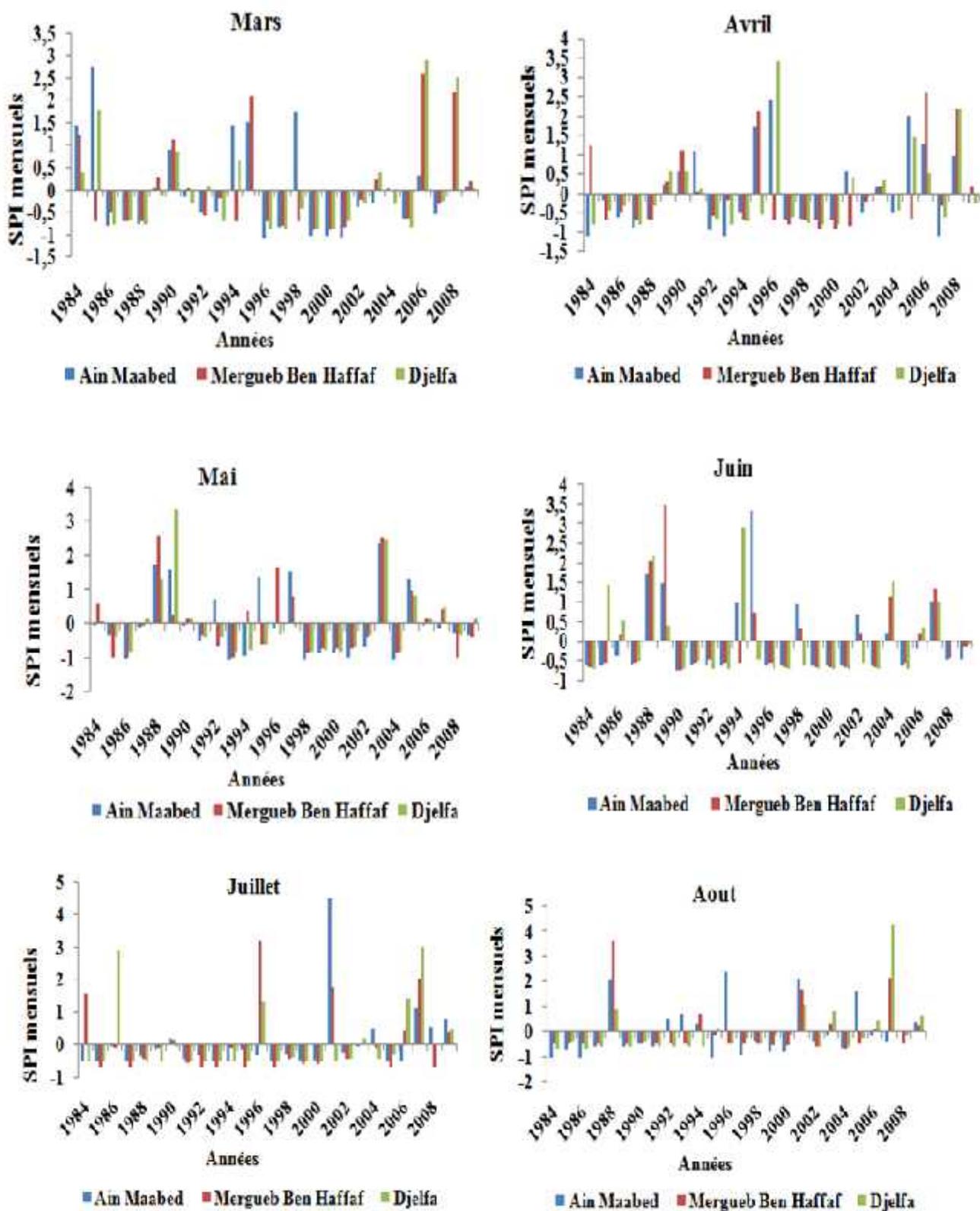


Figure 18: Variation du SPI à l'échelle mensuelle au niveau de trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffa et Djelfa) durant 26 ans. (1984-2009).

1) Septembre :

Ce mois est caractérisé par une sécheresse qui s'étend de 1984 à 1993 et de 1994 à 2003, on enregistre une alternance entre mois sec et mois humide qui s'est concrétisée par des valeurs extrêmement humides de 3.59 à la station de Djelfa et de 2.82 à la station de Mergueb Ben Haffaf durant l'année 1994 et de 2.79 à la station d'Ain Maabed en 1997,

Tandis que le reste de la période c'est à dire de 2004 à 2009, on enregistre une humidité avec des valeurs extrêmement humides à la station de Djelfa avec 2.22 en 2005 et 3.04 en 2009 et avec 2.02 à la station de Mergueb Ben Haffaf en 2008.

2) Octobre :

Pendant ce mois, le seuil de sécheresse est dominant durant la période de 1984 à 2002, sauf pour quelques années, ce mois est humide (1984, 1986, 1991, 1994 et 1997), avec une valeur extrêmement humide en 1994 de 2.48 à la station de Djelfa.

Tandis que le reste de la période c'est à dire de 2003 à 2009, ce mois est humide, avec des valeurs extrêmement humide en 2008 aux stations (d'Ain Maabed avec 2.33, de Mergueb Ben Haffaf avec 3.14 et de Djelfa avec 3.24).

3) Novembre :

Durant la période de 1984 à 2001, ce mois est sec, avec des valeurs extrêmement humides en 1986 aux stations (d'Ain Maabed avec 2.17, Mergueb Ben Haffaf avec 3.34 et de Djelfa avec 3.22).

Durant la période (2002-2005) ce mois est humide, et à partir de l'année 2006 à 2009 ce mois est redevenu sec dans les stations étudiées, sauf l'année 2009 il est humide aux stations de Mergueb Ben Haffaf et de Djelfa.

4) Décembre :

Ce mois est sec durant la période de 1984 à 1998, sauf pendant quelques années (1985, 1992 et 1994) il devient humide.

Pour la période 1999-2009, ce mois est humide, sauf durant l'année de 1999 à la station de Mergueb Ben Haffaf il est sec, en 2001 et en 2007, ce mois devient sec dans les trois stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa).

5) Janvier :

Au cours de la période de 1984-1997, ce mois est sec, sauf en deux années (1989 et 1995), on note que ce mois de janvier est humide avec des valeurs extrêmement humides durant l'année 1995 à la station d'Ain Maabed avec 3.95 et à la station de Djelfa avec 2.93.

Pour la période de 1998 à 2000, ce mois est humide, avec des valeurs extrêmement humides durant l'année 1998 à la station d'Ain Maabed avec 4.78 et à la station de Mergueb Ben Haffaf avec 2.77.

Tandis que le reste de la période de 2001 à 2009, ce mois est marqué par une alternance entre sec et humide, avec une valeur extrêmement humide au niveau de la station de Djelfa avec 2.5.

6) Février :

Durant toute la période d'étude de 1984 à 2009, ce mois est caractérisé par une alternance entre sec et humide, avec des valeurs extrêmement humides aux stations (Ain Maabed de 2.18 et Mergueb Ben Haffaf de 2.01 en 1986), et aux stations (Ain Maabed de 2.73, Mergueb Ben Haffa de 2.62 et Djelfa de 3.31 en 2009).

7) Mars :

Ce mois est caractérisé par une sécheresse légère dominante durant toute la période d'étude (1984- 2003), sauf pendant quelques années il devient humide, avec des valeurs extrêmement humides (Ain Maabed de 2.73 en 1985 et Mergueb Ben Haffaf de 2.09 en 1995).

A partir de 2004 jusqu'à 2009, ce mois enregistre une alternance entre sec et humide avec des valeurs extrêmement humides en 2006, aux stations (Djelfa de 2.89 et Mergueb Ben Haffaf de 2.61) et en 2008, aux stations (Djelfa de 2.49 et Mergueb Ben Haffaf de 2.19).

8) Avril :

Ce mois est caractérisé par une sécheresse légère dominante durant la période de 1984 à 2000, sauf pendant quelques années il est humide, avec des valeurs extrêmement humides au niveau de la station de Mergueb Ben Haffaf de 2.09 en 1995, aux stations d'Ain Maabed de 2.40 et de Djelfa de 3.40 en 1996.

Tandis que le reste de la période c'est à dire de 2001 à 2009, ce mois est caractérisé par une alternance entre sec et humide, avec des valeurs extrêmement humides aux stations (d'Ain Maabed de 2.02 en 2005, de Mergueb Ben Haffaf de 2.61 en 2006 et de Djelfa de 2.17 et de Mergueb Ben Haffaf de 2.19 durant l'année 2008).

9) Mai

Ce mois est caractérisé par une sécheresse légère dominante durant la période de 1984 à 2002, sauf pendant quelques années il est humide, avec des valeurs extrêmement humides aux stations (de Mergueb Ben Haffaf de 2.55 en 1988 et de Djelfa de 3.33 en 1989).

Tandis que le reste de la période c'est à dire de 2003 à 2009, ce mois est caractérisé par une alternance entre sec et humide, avec des valeurs extrêmement humides aux stations (d'Ain Maabed de 2.34, de Mergueb Ben Haffaf de 2.51 et de Djelfa de 2.48) durant l'année 2003.

10) Juin

Ce mois est caractérisé par une sécheresse légère dominante durant la période d'étude (1984-2009), sauf dans quelques années il est humide, avec des valeurs extrêmement humides comme suit:

En 1988, aux stations (de Mergueb Ben Haffaf de 2.05 et de Djelfa de 2.19).

En 1989, à la station de Mergueb Ben Haffaf de 3.47.

En 1994, à la station de Djelfa de 2.90.

En 1995, à la station d'Ain Maabed de 3.33.

11) Juillet

Ce mois est caractérisé par une sécheresse légère dominante durant la période d'étude (1984-2009), sauf dans quelques années il est humide, avec des valeurs extrêmement humides comme suit:

En 1986, au niveau de la station de Djelfa de 2.86.

En 1996, au niveau de la station de Mergueb Ben Haffaf de 3.17.

En 2001, au niveau de la station d'Ain Maabed de 4.48.

En 2007, aux stations (de Mergueb Ben Haffaf de 2.03 et de Djelfa de 3.01).

12) Août

Ce mois est caractérisé par une sécheresse légère dominante durant la période d'étude (1984-2009), sauf dans quelques années il est humide, avec des valeurs extrêmement humides comme suit:

En 1988, aux stations (de Mergueb Ben Haffaf de 3.64 et d'Ain Maabed de 2.09).

En 1996, à la station d'Ain Maabed de 2.43.

En 2007, aux stations (de Mergueb Ben Haffaf de 2.17 et de Djelfa de 4.27).

Par conséquent, on peut conclure que :

- Le mois de Septembre correspondent à un régime de sécheresse (1984-1993) puis une alternance sec et humide (1994-2003) et le reste de la période (2004-2009) enregistre une humidité durant ce mois.
- Le mois de Novembre est sec durant (1984-2001 et 2006-2009), et à partir de 2002 à 2005, ce mois devient humide.
- Les mois (Décembre, Octobre et Mai) sont caractérisés par une sécheresse durant la période de 1984 à 2002 et une humidité pendant le reste période (2003-2009).

- Les mois (Janvier, Mars et Avril) sont caractérisés par une alternance entre sec et humide durant la période (2001-2009).
- Le mois de Février caractérisé par une alternance de périodes sèche et humide pendant toute la période d'étude (1984-2009).
- Les mois (Juin, Juillet et Août) sont caractérisés par une sécheresse légère dominante durant la période d'étude (1984-2009).

On conclut que notre période d'étude est divisée en deux phases climatiques, la première couvre la période 1984 jusqu'à la fin des années 90 qui est strictement sèche et la deuxième qui est humide et qui commence à partir des années 2000 jusqu'à 2009.

2.3. Résultats de l'indice de déficit pluviométrique

A) Station d'Ain Maabed :

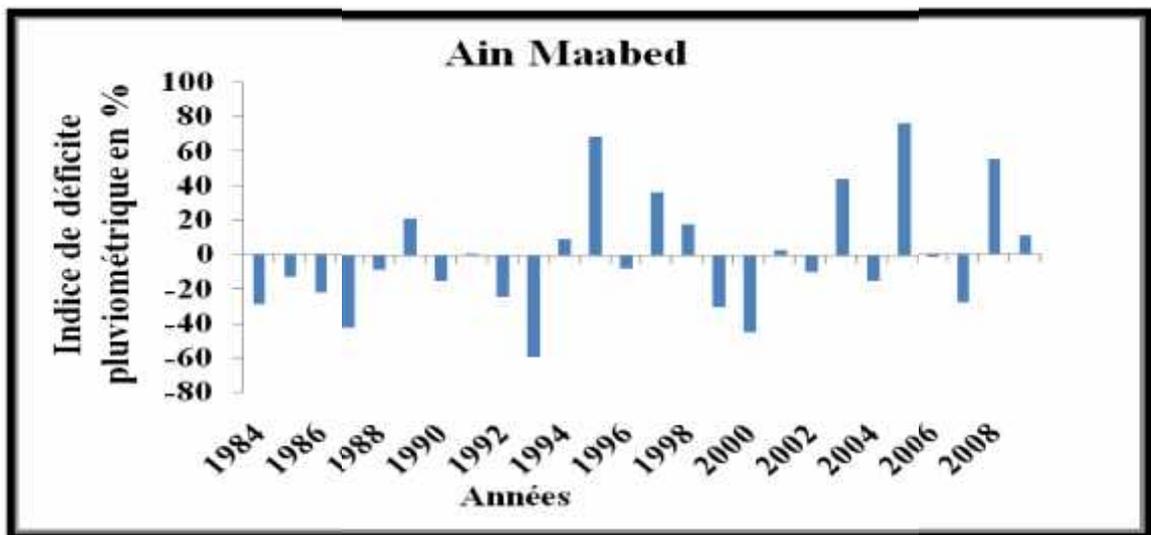


Figure 19 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2009.

L'indice de déficit pluviométrique dans la station d'Ain Maabed a permis d'estimer la variation ponctuelle des précipitations par rapport à la normale. Le déficit le plus important enregistré durant toute la période d'observation est de $-58,57\%$ en 1993.

Le déficit pluviométrique est plus important, en nombre d'années successives, de 1984 à 1988, de 1990 à 1993 et de 1999 à 2000 et autour des années (2002, 2004 et 2007).

- ✓ La première phase de déficit pluviométrique s'est étalée sur quatre ans avec un taux maximal de $-41,89\%$ en 1987.
- ✓ La seconde phase est marquée par trois années de déficit pluviométrique avec un taux maximal de $-58,57\%$ en 1993.
- ✓ Troisième phase est marquée par trois années de déficit pluviométrique avec un taux maximal de $-44,43\%$ durant l'années 2000.

L'excès pluviométrique, pour cette série 1984-2009 est observé sur neuf années avec un excès pluviométrique maximal de 76,78% en 2005.

B) Station de Mergueb Ben Haffaf :

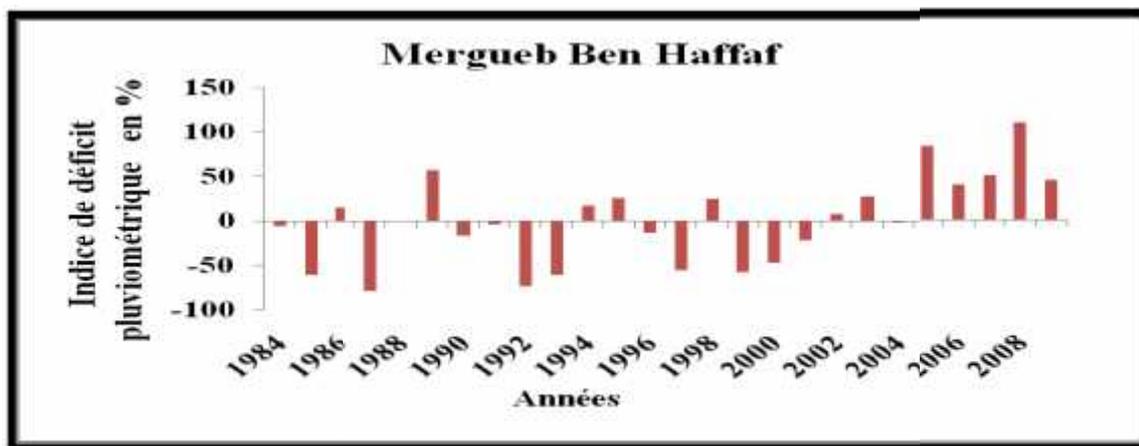


Figure 20: Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2009.

Le déficit pluviométrique dans la station de Mergueb Ben Haffaf le plus important qui a été enregistré durant toute la période d'observation est de l'ordre de -78,48% en 1987.

Les années sèches regroupées en quatre phases de 1984 à 1985, de 1990 à 1993, de 1996 à 1997 et de 1999 à 2001 avec des taux allant de -4,39 % à -78,48 %.

Les années humides, au nombre de douze, sont caractérisées par un excès pluviométrique maximal de 108,84 % en 2008, la phase la plus importante s'étale sur sept années avec des taux variant entre 7,49% à 108,84 %.

C) Station de Djelfa :

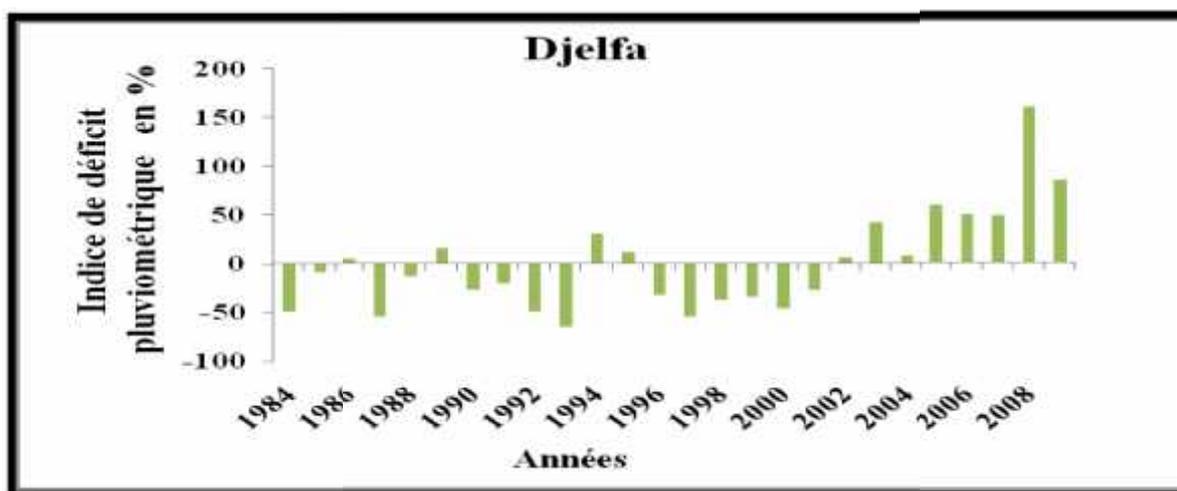


Figure 21: Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) durant la période 1984-2009.

Le déficit pluviométrique le plus important dans la station de Djelfa enregistré durant toute la période d'observation est de l'ordre de $-65,49\%$ en 1993.

Le déficit pluviométrique est plus important en nombre d'années successives, de 1984 à 1985, de 1987 à 1988, de 1990 à 1993 et de 1996 à 2001 cette dernière période plus grande par rapport aux autres périodes, s'est marquée par six années de déficit pluviométrique avec un taux maximal de $-54,53\%$ en 1997.

Les huit dernières années de la période d'étude (2002-2009) se sont des années humides, se caractérisent par un excès pluviométrique maximal de $158,17\%$ en 2008 et l'année 2009 a totalisé un taux de $84,06\%$.

2.4. Résultats de l'Effective Drought Index (EDI)

On obtient finalement pour chaque année une valeur de l'EDI associée. On s'intéressera par la suite, à la répartition des différents types de sécheresses ainsi qu'à l'évolution sur la période d'étude (1984-2009).

Notons qu'on s'intéressera principalement aux sécheresses extrêmes et sévères ($EDI < -1.5$) ainsi qu'aux sécheresses en général ($EDI < 0$).

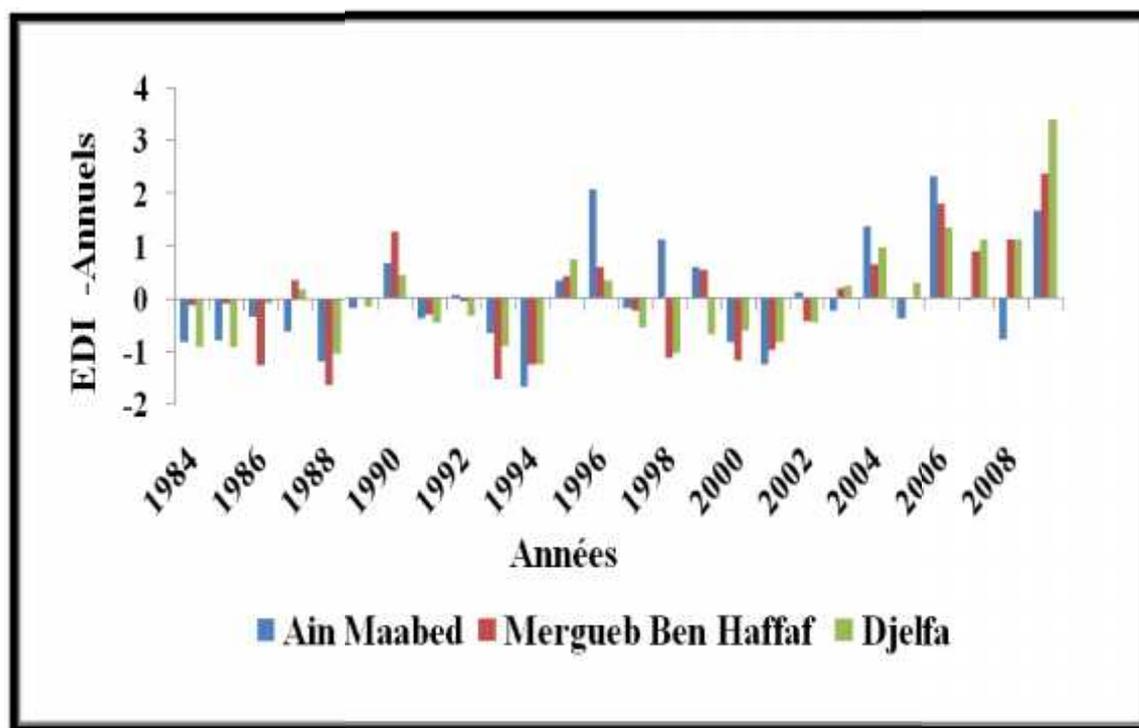


Figure 22 : Evolution annuel de l'Effective Drought Index (EDI) sur une période (1984-2009).

Tableau 12: Ampleur de la sécheresse durant une période de 1984 à 2009.

Variable	Stations météorologique	Classes d'EDI	Interprétations	Nombres d'années
Précipitation (1984-2009)	Ain Maabed	-0.69 à 0 -0.7 à - 1.49 -1.5 à -2.49 <-2.5	Sécheresse légère* Sécheresse modérée Sécheresse sévère Sécheresse extrême	8* 6 1 0
	Mergueb Ben Haffaf	-0.69 à 0 -0.7 à - 1.49 -1.5 à -2.49 <-2.5	Sécheresse légère* Sécheresse modérée Sécheresse sévère Sécheresse extrême	6* 5 2 0
	Djelfa	-0.69 à 0 -0.7 à - 1.49 -1.5 à -2.49 <-2.5	Sécheresse légère* Sécheresse modérée Sécheresse sévère Sécheresse extrême	8* 7 0 0

*Phénomène climatique dominant.

Les résultats de calcul de l'Effective Drought Index représenté dans (la figure 24) et (le tableau 11), ont montré que la région d'étude est caractérisée par une sécheresse légère dominante dans les trois stations météorologiques (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa), suivi d'une sécheresse modérée et l'absence de sécheresse extrême pendant cette période (1984-2009).

2.5. Résultats de l'indice de saisonnalité

Les résultats de l'indice de saisonnalité représenté ci-dessous dans la figure 23.

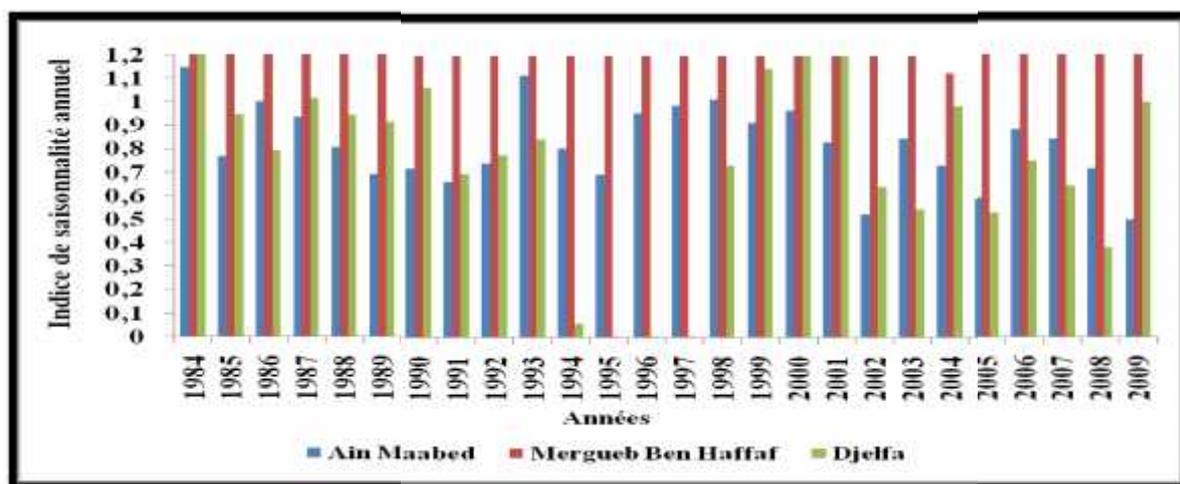


Figure 23 : Variation de l'indice de saisonnalité dans les stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) sur une période (1984-2009).

Pour la saisonnalité des pluies, l'indice SI à la station d'Ain Maabed et pendant la majorité des années durant la période d'étude (1984-2009), est compris entre 0,80 et 0,99, attestant ainsi une répartition nettement saisonnière avec une longue saison sèche (selon le tableau 06, figure 25).

En outre, au niveau de la station de Mergueb Ben Haffa, le résultat de l'indice SI est supérieur à 1.19 durant toute la période (1984-2009), ceci indique qu'il y a un régime d'extrême et de maximum de pluie de 1 à 2 mois.

Par contre, à la station de Djelfa une alternance pour la saisonnalité des pluies est caractérisée, et le régime saisonnier (entre 0.60 et 0.79) est plus répandu.

2.6. Indices d'agressivité de la pluviométrie

2.6.1. Variation de l'indice IPC et IFM sur toute la période d'étude (1984-2009)

Le tableau ci-dessous présente les résultats de l'indice de concentration de précipitation (IPC) et l'indice de Fournier modifié (IFM) sur une période (1984-2009).

Tableau 13 : Résultats et interprétations des indices IFM et IPC

Stations Météorologique	Ain Maabed	Mergueb Ben Haffaf	Djelfa	Interprétation
IPC	9.96	9.74	9.47	Uniforme
IFM	20.68	14.94	17.6	Très faible

Les valeurs de l'indice de concentration de précipitation (PCI) au niveau des trois stations (d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa) sont inférieures à 10 ce qui indique une distribution uniforme de précipitation mensuelle pendant toute l'année.

Tandis que les résultats de l'indice de Fournier modifié (IFM) présentent une agressivité très faible des précipitations mensuelles dans les stations (d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa).

2.6.2. Variation de l'indice IPC et IMF à chaque année de la période d'étude (1984-2009)

Selon la figure 24 et classification du tableau 08, on remarque que :

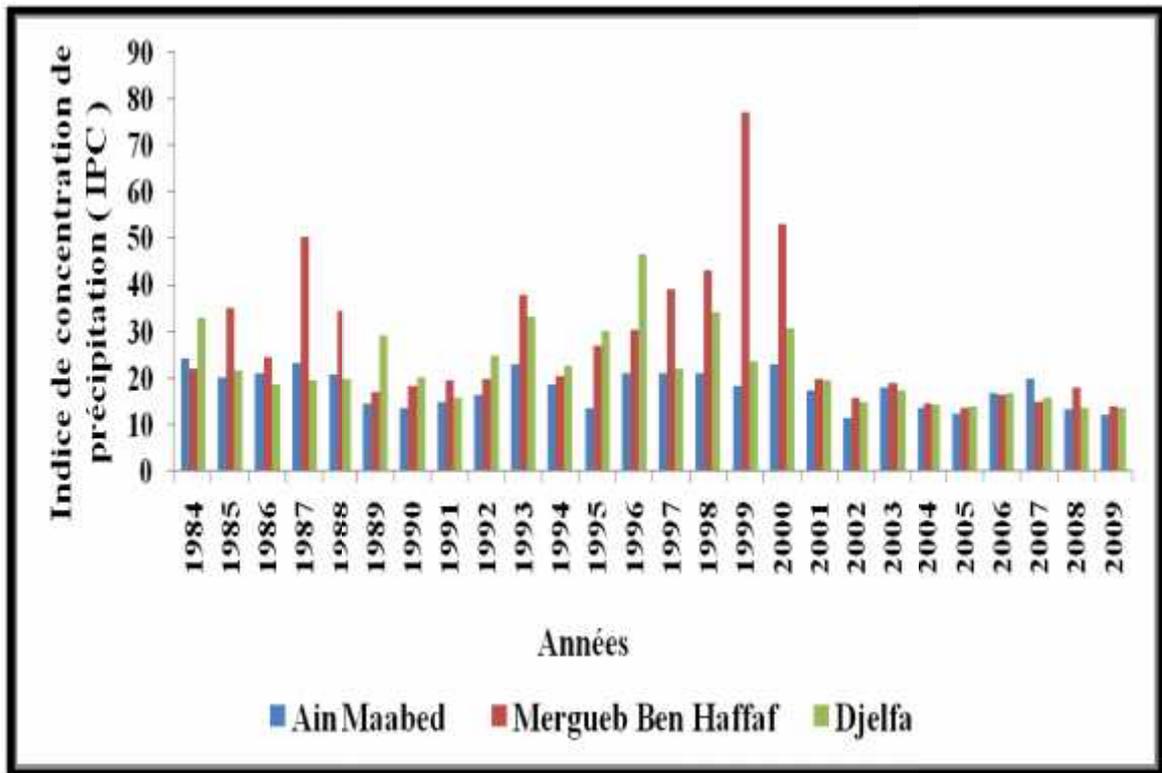


Figure 24 : Variation de l'indice de concentration de précipitation (PCI) sur une période (1984-2009)

Les résultats de l'indice de concentration de précipitation (PCI) aux stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa présentent une forte concentration saisonnière des précipitations mensuelles durant la période de 1984 à 2000 sauf quelques années qui présentent une concentration saisonnière modérée dans la station d'Ain Maabed autour de la période de 1989 à 1991 et en 1995. Et une répartition saisonnière dans ces stations, de 1989 à 1992 au niveau de la station de Mergueb Ben Haffaf, à la station d'Ain Maabed en 1992 et 1999 et dans la station de Djelfa autour des années 1986, 1987 et 1991.

Ainsi, cet indice présente une concentration irrégulière des précipitations mensuelles en 1987, 1999 et 2000 dans la station de Mergueb Ben Haffaf.

Tandis que le reste de la période (2001-2009), les résultats du PCI montrent une concentration saisonnière à saisonnière modérée des précipitations dans toutes les stations.

Selon la figure 25 et classification du tableau 09, on remarque que :

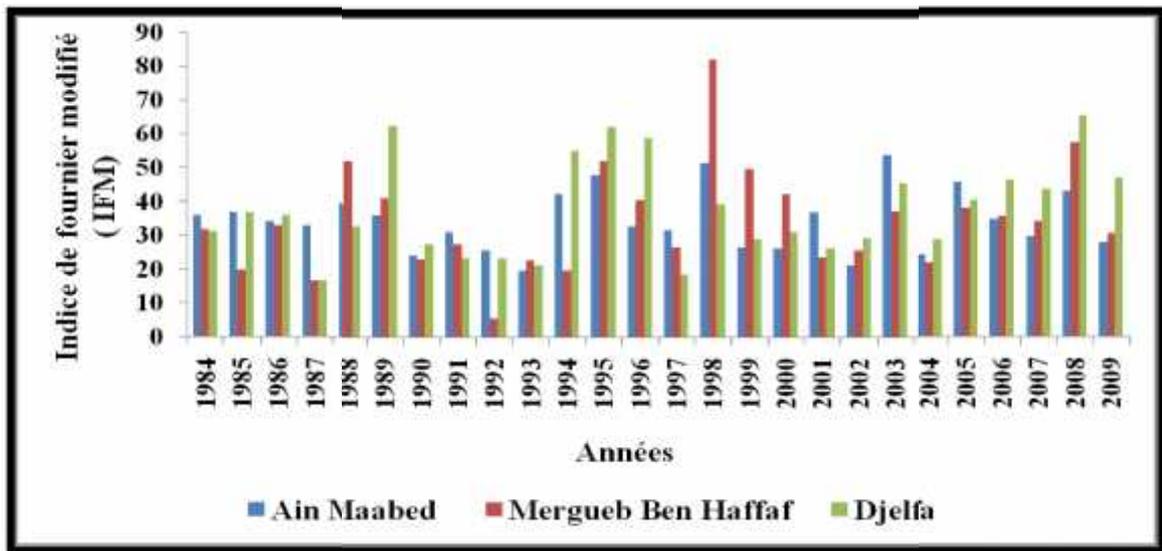


Figure 25 : Variation de l'indice de Fournier modifié (IFM) sur une période (1984-2009)

Tandis que les résultats de l'indice de Fournier modifié (IFM) présentent une faible agressivité des précipitations mensuelles à chaque année de la période d'étude (1984-2009) aux stations d'Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa. Cet indice est égale à 82.46 en 1998 à la station de Mergueb Ben Haffaf, est égale à 62.96 en 1989 à la station de Djelfa et égale à 62.52 en 1995 et 65.49 en 2008.

2.7. Indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe

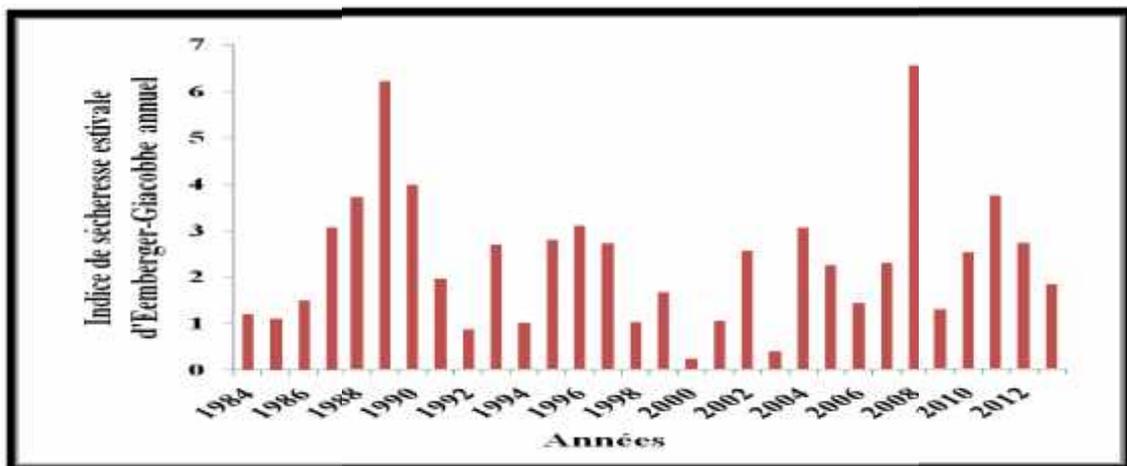


Figure 26 : Variation de l'indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe de la station de Djelfa sur une période (1984-2013)

L'évaluation de l'indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe est majoritairement inférieure à 5 durant toutes les années de la période d'étude (1984-2013).

En effet, selon Giacobbe, Emberger (1943) il y a une sécheresse estivale. C'est un trait caractéristique du régime steppique.

2.8. Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gausсен

La combinaison des précipitations et celle des températures est représenté dans la figure suivante :

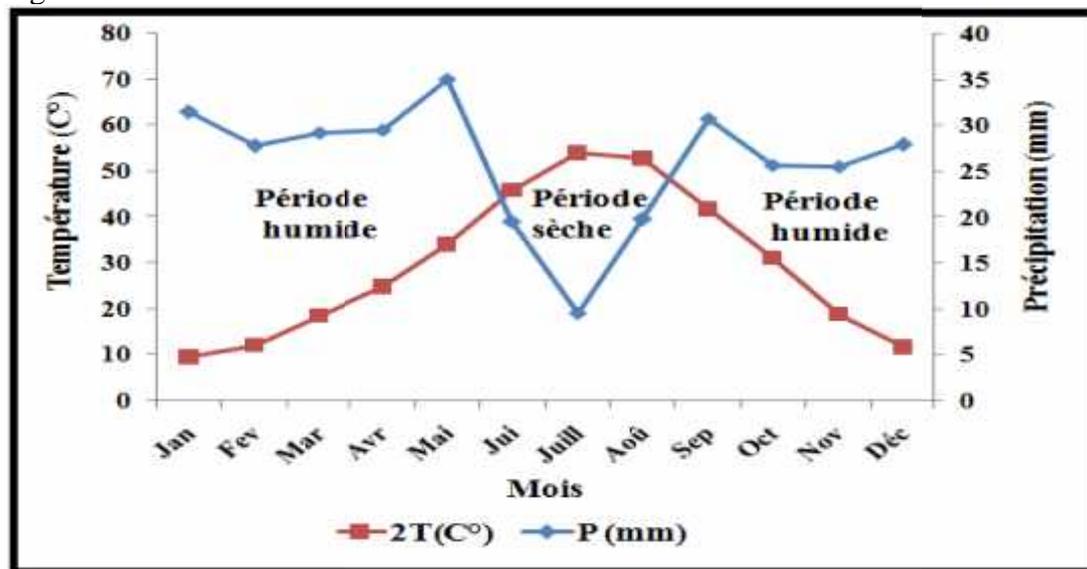


Figure 27 : Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gausсен (1984-2013).
(Source : ONM, 2016).

On remarque que la période sèche est court pendant la période (1984-2013) au niveau de la station de Djelfa, elle est étalée sur 3 mois de Juin à Août c'est-à-dire la période estivale, avec une période humide plus important durant les autres 9 mois (de Septembre à Mai). D'autre part, nous pouvons déduire que la période pluvieuse coïncide avec la saison froide et la période sèche coïncide avec la saison chaude, caractéristique du climat méditerranéen.

2.9. Indice d'aridité de De Martonne

Dans notre cas et selon les résultats obtenus, l'indice d'aridité de De Martonne de la région de Djelfa est égale 12.57.

Donc selon la classification de "De Martonne", la région de Djelfa est caractérisée par un climat semi-aride à écoulement temporaire (figure 28).

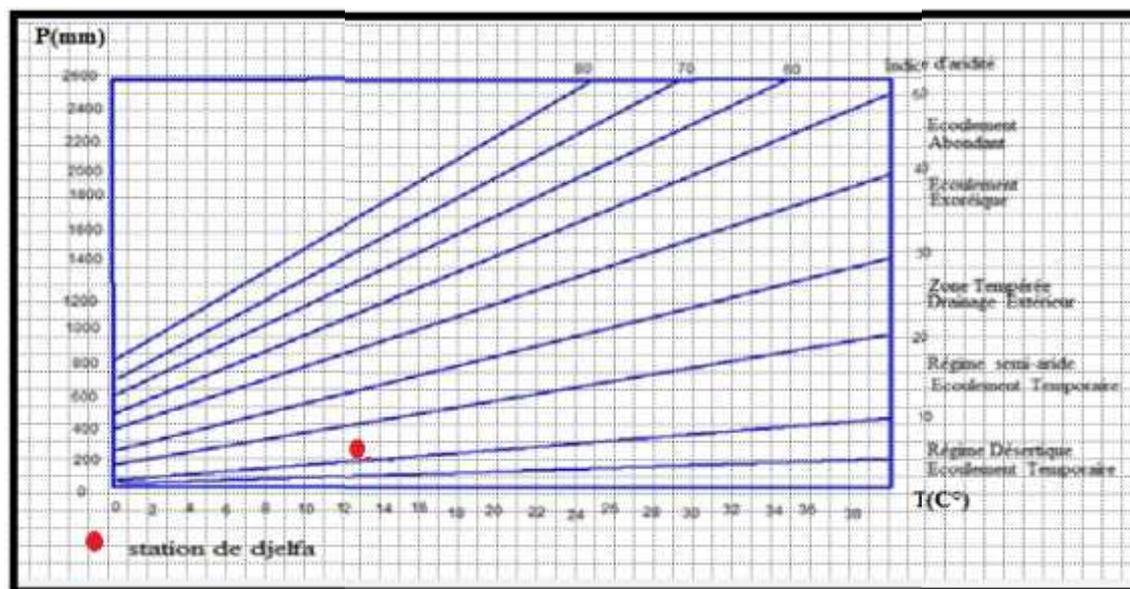


Figure 28: Situation de la station de Djelfa sur l'Abaque de l'indice d'aridité de De Martonne.

2.10. Bilan climatique

La figure ci-dessous représente l'évolution du bilan climatique sur une période de 1984 à 2013 au niveau de la station de Djelfa.

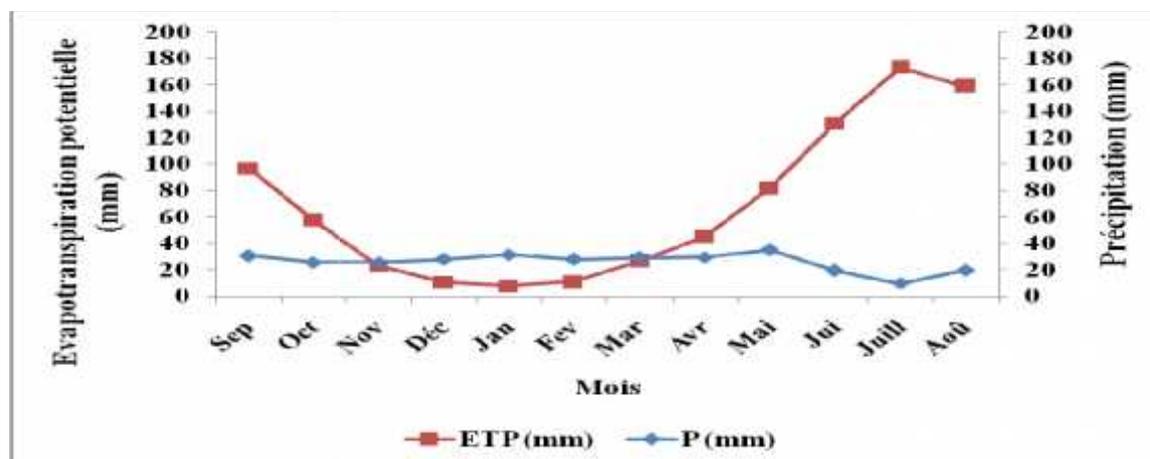


Figure 29 : Variation mensuelle du bilan climatique moyen à partir de deux paramètres climatiques tels que précipitation et l'évapotranspiration potentielle de 1984 à 2013 dans la station de Djelfa.

- Il ressort de l'analyse de la figure 29 que le bilan climatique est déficitaire durant 7 mois d'Avril jusqu'à d'Octobre, ce qui correspond au moment où l'évapotranspiration potentielle est supérieur à la pluviométrie ($P < ETP$). Ainsi le climat devient sec et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible.

- Le bilan climatique est excédentaire pendant 5 mois, de mois Novembre jusqu'à Mars (période humide), ce qui correspond au moment où la pluviométrie est supérieure à l'évapotranspiration potentielle ($P > ETP$), donc il existe une réserve d'eau disponible du sol.

3. Discussions

A la fin de ce travail, un tableau récapitulatif de tous les indices, calculées lors de cette étude, est tracé afin d'effectuer une synthèse finale et trouver les liens entre ces indices et déduire les conclusions relatives à l'impact des changements climatiques sur la désertification. Les résultats des indices sont résumés dans les tableaux 13 et 14 comme suit :

Tableau 14 : Résultats des indices durant (1984-2013) au niveau de la station de Djelfa.

Indices	Résultats
Indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe (S)	-Inférieure à 5 dans toutes les années de la période d'étude.
Indice d'aridité de De Martonne (Ia)	-Climat semi-aride à écoulement temporaire
Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gaussen	-La période sèche est étalée sur 3 mois de Juin à Août. - La période humide est étalée sur 9 mois de Septembre à Mai.
Bilan climatique (BC)	- Déficitaire durant 7 mois d'Avril jusqu'à d'Octobre. Ainsi le climat devient sec et qu'il n'y a pas de réserve d'eau disponible. -Excédent pendant 5 mois, de Novembre jusqu'à Mars (période humide), donc il existe une réserve d'eau disponible du sol.

Tableau 15: Résultats des indices durant (1984-2009) aux niveaux des stations (Ain Maabed, Mergueb Ben Haffaf et Djelfa)

Indices	Stations	Résultats des indices durant (1984-2009)		
		Ain Maabed	Mergueb Ben Haffaf	Djelfa
Indice de précipitation standardisé (SPI-12)		-Sèche dans la période (1984-1993) - une alternance des années sèches et des années humides en (1994-2009)	-Sèche dans la période (1984-2001) - Humide durant la période (2002-2009)	-Sèche dans la période (1984-2001) - Humide durant la période (2002-2009)
Indice de déficit pluviométrique (IDP %)		- Le déficit pluviométrique est dominant durant la période (1984-2000). - Le reste période (2001-2009) est pluvieuse caractérisé par l'humidité dominant.	- Il y a déficit pluviométrique durant la période (1984-2001) -La période (2002-2009) est pluvieuse, donc elle est humide.	- Il y a déficit pluviométrique durant la période (1984-2001) -La période (2002-2009) est pluvieuse, donc elle est humide.
Effective Drought Index (EDI)		-Sécheresse légère dominant	-Sécheresse légère dominant	-Sécheresse légère dominant
Indice de saisonnalité (IS)		-Répartition saisonnière avec longue saison sèche	-Extrême et maximum de pluie en 1 à 2 mois	-Régime saisonnier plus rependu
Indice de concentration de précipitation (IPC)		-Uniforme durant toute la période d'étude (1984-2009) - Forte saisonnalité des précipitations mensuelles durant la période de 1984 à 2000. - Répartition saisonnière des précipitations et saisonnière modérée durant la période (2001-2009)	-Uniforme durant toute la période d'étude (1984-2009) - Forte saisonnalité des précipitations mensuelles durant la période de 1984 à 2000. - Répartition saisonnière des précipitations et saisonnière modérée durant la période (2001-2009)	-Uniforme durant toute la période d'étude (1984-2009) - Forte saisonnalité des précipitations mensuelles durant la période de 1984 à 2000. - Répartition saisonnière des précipitations et saisonnière modérée durant la période (2001-2009)
Indice de fourmier modifié (IFM)		-Très faible	-Très faible	-Très faible

Ces résultats montrent l'importance du phénomène étudié qui est la désertification vis-à-vis des variabilités climatiques, qui concerne principalement les indicateurs climatiques et les indicateurs de sécheresse comme éléments essentiels pour déterminer les impacts de la variabilité climatique sur la désertification dans la région de Djelfa.

Les analyses ont porté sur les régimes pluviométriques par des tests statistiques non paramétriques sur une période de 26 années, allant de 1984 jusqu'à 2009 et ce pour les 3 stations pluviométriques à savoir station d'Ain Maabed, station de Mergueb Ben Haffaf et station de Djelfa dans la région de Djelfa. Ces tests ont permis de détecter d'éventuels changements de stationnarités marquées par des ruptures dans la plus part des séries étudiées.

En effet, des ruptures ont été détectées par l'ensemble des tests à partir du début des années 2000, aussi les trois tests utilisés affichent des ruptures à la hausse en 2001, 2004 et 2005 dans la station de Mergueb Ben Haffaf et en 2001 et en 2003 et 2008 dans la station de Djelfa, seul la station de Ain Maabad affiche une rupture en 1987 détectée par la Procédure Bayésienne de Lee et Heghinian.

En outre, l'indice SPI a permis donc d'assurer aussi une surveillance des périodes humides et sèches, à partir des résultats de cet indice dans les stations de Mergueb Ben_Haffaf et Djelfa ont conclu que la période de 1984 à 2001 est sèche, ceci a été confirmé par les calcul et le déficit pluviométrique important enregistré durant cette période, aussi l'effective drought index (EDI) et l'indice de fourmier modifié (IFM) ont confirmé qu'il y a une sécheresse légère dominante avec une pluviométrie très faible, et selon l'indice de saisonnalité (IS), on observe un régime saisonnier plus rependu à la station de Djelfa, par contre à la station Mergueb Ben Haffaf un extrême et un maximum de pluie en 1 à 2 mois a été observé.

Quand à l'indice de concentration de précipitation (IPC), ce dernier présente une forte saisonnalité des précipitations mensuelles durant la période de 1984 à 2000, par contre le reste de la période 2002 à 2009 est caractérisé par une humidité, ainsi l'indice SPI et l'indice de IDP%, tous les deux confirment que cette période est pluvieuse et l'indice IPC représente une répartition saisonnière et saisonnière modérée des précipitations durant la période (2001-2009)

À la station d'Ain Maabed et au cours de la période (1984-1993), on enregistre une période sèche, les indices mentionnés précédemment ont confirmé ces résultats et selon l'indice de saisonnalité (IS), nous remarquons une répartition saisonnière avec longue saison sèche, et le reste de la période (1994-2009) est caractérisé par une alternance d'années sèches et d'années humides selon l'indice de SPI, en ce qui concerne IDP% il y a un déficit pluviométrique dominant durant la période (1984-2000) et le reste de la période (2001-2009) est caractérisée par une humidité dominante et pluvieuse.

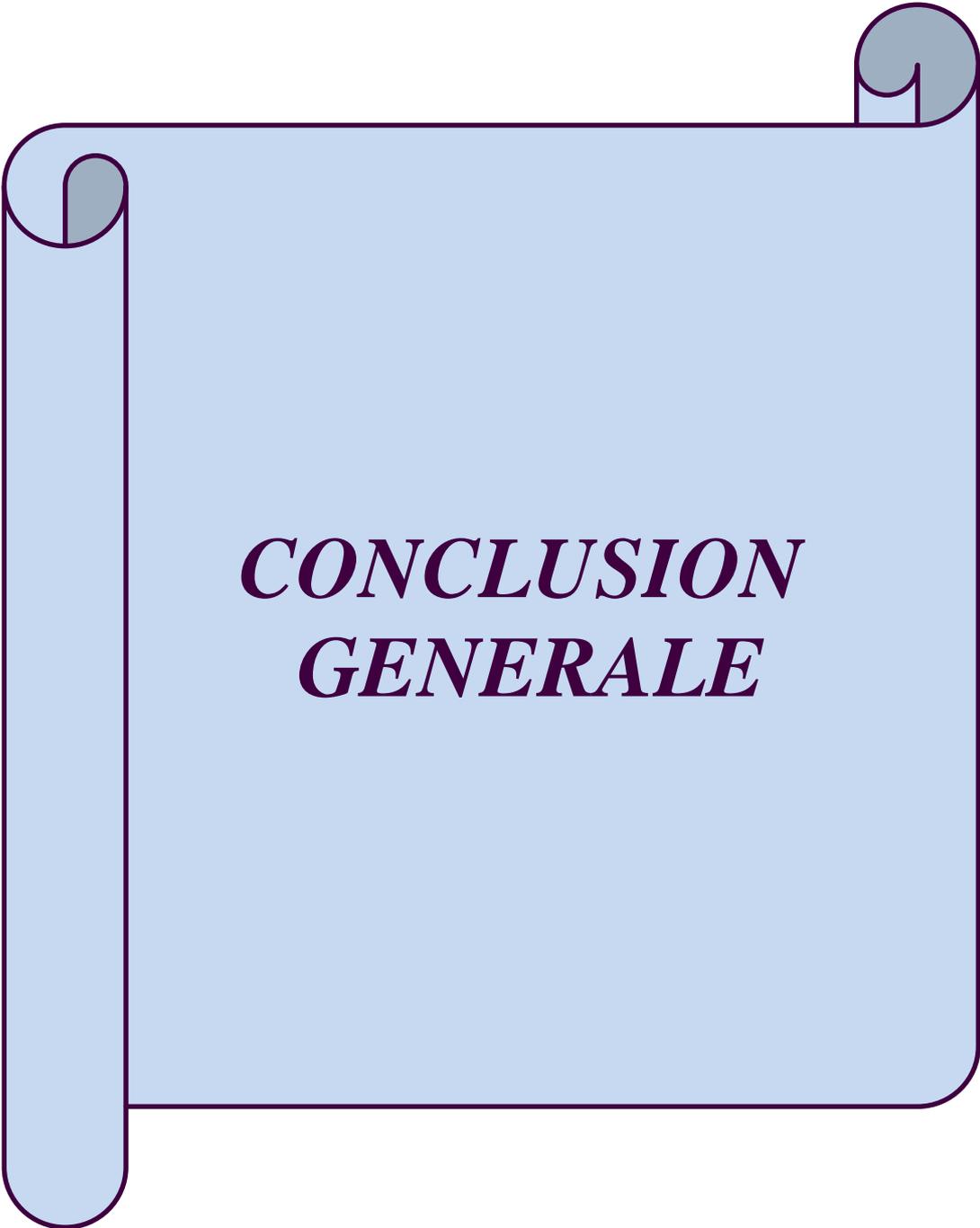
Les résultats de l'indice d'aridité de De Martonne (Ia) sur une période de 1984 à 2013 à la station de Djelfa ont confirmé que la région de Djelfa se trouve confrontée à un climat semi-aride.

En outre, le bilan climatique (BC) affiche une période excédentaire du mois de novembre jusqu'à mars c'est à dire qu'une partie des pluies précipitées sur notre région d'étude s'évapore et l'autre partie ruisselle ou s'infiltré contribuant ainsi à la recharge des nappes phréatiques, par contre, pendant 7 mois d'Avril jusqu'à d'Octobre les pluies précipitées sur la région de Djelfa s'évaporent en totalité vu que la pluie est inférieure à l'évapotranspiration, ce qui fait de cette période une période déficitaire vis à vis les ressources en eau de cette région, même les résultats de l'indice de sécheresse estivale d'Emberger-Giacobbe (S) et le Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gaussen confirment ceux du bilan climatique du moment qu'il y a une période estivale sèche, et une période excédentaire durant le mois de Novembre jusqu'à Mars (période humide) et pour le Diagramme Ombrothermique de Bagnauls et Gaussen la période humide est étalée sur 9 mois de Septembre à Mai.

En fin, selon les résultats obtenus, nous avons trouvé que les tests de rupture affichent des ruptures à la hausse tandis que les calculs des indices et du bilan climatiques montrent une sécheresse pendant une longue période (1984-2000), ceci indique que le facteur pluie n'est pas le seul responsable du phénomène de désertification dans la région de Djelfa mais il peut y avoir d'autres paramètres qui entrent en jeu tels que le vent qu'on a pas pu traité lors de cette étude ceci à cause du manque de données nécessaires.

En effet, le Nord d'Algérie connaît une période sèche à partir du milieu des années 70 qui est due à une diminution de pluie et une augmentation de température, ces résultats ont été déjà évoqués par plusieurs chercheurs dont Touazi et Laborde, 2000 ; ANRH, 1993 ; ANRH, 2010, qui ont déjà évoqué la tendance à la sécheresse à partir des années 1970 sur l'Algérie du Nord. Ces résultats sont en accord avec les travaux récents de Meddi et al. (2002) qui ont conclu à une diminution des pluies constatée durant les trente dernières années, qui a touché l'ensemble de l'Algérie mais surtout l'Ouest, se chiffrant à : (a) 30 à 40% à l'échelle annuelle et plus de 40% en hiver et au printemps dans la région de Mascara; (b) 20 à 30% sur le littoral allant du centre à l'Ouest du pays; et (c) 20% à l'échelle annuelle et 25% en hiver au centre du pays. Ils confirment également ceux de Meddi et Hubert (2003), sur la réduction des totaux précipités pour les bassins de l'extrême Ouest d'Algérie.

En outre, Alpert et al. (2002) ont également rapporté une diminution des pluies sur le pourtour méditerranéen : en Espagne, Italie, Turquie et Chypre de 1951 à 1995. Bekoussa et al, (2008), ont eux aussi, après analyse de l'évolution des apports pluviométriques dans la région de Ghriss (Nord-Ouest Algérien), montré une nette diminution depuis 1973 estimée à plus de 25 %, ajouté à ces résultats ceux trouvés par Laborde et al, (2010) qui ont indiqué que la simulation de pluies sur l'Algérie du Nord avec une baisse annuelle de 15 % entrainerait une diminution de l'écoulement annuel de l'ordre de 40 % .Singla et al, (2010) et Mahe et al, (2011), décrivent également au Maroc une rupture climatique qui débute vers 1976 dans certaines régions, et qui s'étend largement vers 1979-1980 à la presque totalité du territoire.



***CONCLUSION
GENERALE***

CONCLUSION GENERALE

Un tiers de la superficie terrestre est menacé par le phénomène de la désertification, touchant ainsi les moyens de subsistance d'un milliard de personnes vivant dans plus de 100 pays.

En Algérie, de part la variabilité naturelle du climat et même sidérant les dernières trentaines d'années, l'avance de la désertification en intensité et durée a été plus important en Nord de l'Algérie.

Les principaux éléments d'intérêt en lien avec la désertification y sont traités dans le but d'établir l'état des connaissances sur ce processus de dégradation environnementale par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines.

Ainsi, pour la lutte contre la désertification plusieurs politiques et diverses techniques ont été utilisées, tel que les actions qui ont été entreprises par les autorités publiques telles que « le Barrage Vert », les mises en place de coopératives pastorales, la mise au point de modèles de gestion intégrée des ressources et des programmes de mises en valeur des terres...etc.

Au terme de ce travail, nous avons effectué une étude de contribution de la variabilité climatique dans le contexte de la désertification cas de la région de Djelfa, cette région qui est caractérisée par un climat semi-aride, et après les traitements des différentes données recueillies à l'Office National Météorologique de Djelfa durant la période 1984-2013, notre zone d'étude présente des caractères climatiques diversifiés: une pluviométrie moyenne annuelle de plus de 310 mm avec une saison estivale chaude et sèche avec une température moyenne maximale de plus de 34°C et un hiver très froid avec une température moyenne minimale de l'ordre de 0.48 °C, tandis que l'évaporation annuelle est de l'ordre de 822.89 mm et des vents fréquents favorisant le transport éolien avec une direction dominante Ouest et Nord-Ouest en hiver et Sud Ouest en été.

Par contre, les caractéristiques édaphiques : il y a plusieurs types des sols observés dans cette région à savoir: des sols squelettiques, des sols d'accumulation calcaire et gypseuse, des sols salés et des sols à vocation agricole, d'où les principales essences forestières sont : le Pin d'Alep et la Chaîne verte.

Pour effectuer ce travail, on a suivi des méthodes efficaces originales tels que : une méthode simple de comblement de la lacune de pluie mensuelle. Ce champ d'étude nécessiterait de plus amples recherches. Soulignons que la qualité des données brutes et la critique qui en a été faite sont ici des points forts et nécessaires.

Nous avons ensuite réalisé des tests statistiques de détection des ruptures sur les séries chronologiques (précipitation annuelles). Nous avons alors obtenus les résultats suivants : les analyses ont porté sur les régimes pluviométriques par des tests statistiques non paramétriques sur une période de 26 années, allant 1984 jusqu'à 2009 et ce pour les 3 stations pluviométriques correspondantes aux niveaux de la région de Djelfa. Ces tests ont permis de détecter d'éventuels changements de stationnarités

marquées par des ruptures à la hausse dans la plus part des séries étudiées durant la période de 2000 à 2009.

Cette synthèse montre l'importance du phénomène étudié, principalement aux indicateurs climatique et des indicateurs de sécheresse comme éléments essentiels pour définir contribution de la variabilité climatique dans le contexte de la désertification cas de la région de Djelfa. L'analyse statistique des indices climatique (SPI, IDP, EDI, SI, IPC, IFM, S, I) a permis de préciser les conditions du régime pluviométrique, la température et l'évapotranspiration potentielle dans notre secteur d'étude. D'après les résultats de ces indices et du bilan climatiques, il s'avère qu'il y a une sècheresse pendant une longue période (1984-2000), bien que les tests statistiques affichent des ruptures à la hausse dans les séries pluviométriques, ces résultats peuvent indiquer que le facteur pluie n'est pas le seul responsable du phénomène de désertification dans la région de Djelfa mais il peut y avoir d'autres paramètres qui entrent en jeu tels que le vent qu'on a pas pu traiter lors de cette étude ceci à cause du manque de données nécessaires.

Au terme de ce mémoire, les résultats montrent que les indices climatiques et les variations des paramètres climatiques, ont permis de constater que ce sont les épisodes des sécheresses pendant une longue période qui sont responsables de l'essentiel de la désertification dans la région de Djelfa.

Ajouté à ces résultats, la région Djelfa appartenant à la bioclimatique semi-aride a une assez grande superficie de terrain décrivant le phénomène de désertification. La texture habituellement dominante des sols sablonneux utilisés pour le développement agricole (comme dans la grande plaine de Djelfa sycline), qui une fois nie la couverture permanente, sera soumise à l'érosion éolienne du serveur. Le surpâturage est une deuxième cause de dégradation et de perte de terrain. Comme le cas de Djebel Sahari Senalba et principalement des anciennes forêts de pin d'Alep, sont en état de dégradation. En plus, la région de Djelfa est une région de faible densité végétale, ce qui pose un problème pour l'avance de la désertification (Zagrar, 2009).

Références bibliographiques

- **ABHCZ, 2013**, Agence des Bassins Hydrographiques Cheléff-Zahrez. Rapport d'inventaire de l'eau souterraine et superficielle de la région de Djelfa.
- **Achir M et Hellal B, 2016**, Réflexions sur les variations pluviométriques de La région de Tiaret (Algérie Occidentale) durant la période 1984–2015. Laboratoire de géomantique et développement durable, Université Ibn Khaldoun de Tiaret, Algérie P :501-502.
- **Aidi K, 2014**, Etudes des pluies et des intensités pluviales des zones semi-arides (cas du Zahrez, bassin versant 17). Thèse Magister, Université Kasdi Mebrah Ouargla, P : 22.
- **Ali Rahmani S, 2015**, Study of the relationship between drought index and Groundwater recharge, case of an aquifer in a semi-arid area, P: 2.
- **Alpert P et al, 2002**, l'augmentation paradoxale des précipitations journalières extrêmes méditerranéennes, malgré la diminution des valeurs totales. Geophys. Res. Lett., 29 (11), P :31-1-31-4.
- **Amroune S, 2014**, Etude Spatio-temporelle de la Sécheresse Météorologique au Nord de l'Algérie. Thèse Master, Université Thémis Miliana, PP : 21-22.
- **ANDI, 2013**, Agence nationale développement de l'investissement, Wilaya de Djelfa.
- **ANLCD, 1996**, Programmes d'action nationale sur la lutte contre la désertification, P : 23-25.
- **ANRH, 2010**, Les changements climatiques et leur impact sur les ressources en eau en Algérie. Assises Nationales sur l'Eau. ANRH. Alger, P :41 .
- **Bekoussa B, Meddi M, et Jourde, H, 2008**, Forçage climatique et anthropique sur la ressource en eau souterraine d'une région semi-aride : le cas de la plaine de Ghriss (Nord-Ouest algérien).*Sécheresse*, vol. 19, n°3, p. 173-184.
- **Belaroui K et Liazid M, 2012**, Impact des facteurs climatiques sur la désertification et l'environnement des zones semi-arides (cas de la région de Saida).
- **Benguerai A, 2011**, Évolution du phénomène de désertification dans le sud oranais (Algérie) Thèses de doctorat en science, P : 6,13 et 14.
- **Bousoufi K et Mousli S, 2015**, Etude de la sécheresse dans la plaine de Beni Slimane dans la wilaya de Médéa. Thèse Master, Université Khemis Miliana. P : 51.
- **Boutalba A et Chetoui A, 2016**, Essai de quantification de flux d'eau à travers la zone non saturée de la région semi-aride (Djelfa). Thèse Master, Université de Thémis -Miliana, PP : 26-27.
- **CARI, 2003**, La désertification un tiers des terres de la planète menacé, P : 7.
- **CETIM, 2008**, R 67.Etude d'impact de la cimenterie de Djelfa. P : 16,17 et 27.
- **Djamaladine I et Mahamat A, 2014**, Vulnérabilité des ressources en eau superficielles du bassin de l'oued mina aux changements climatiques. Thèse Master, Université de Khemise-Miliana.
- **DGF, 1996**, Direction Générale des forêts. Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte Contre la Désertification, DGF, Algérie.
- **DPAT, 2003**, Monographie de la Wilaya de Djelfa. Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire (DPTA). PP : 6-22.

Références bibliographiques

- **Emily S, 2010**, Les défis de la mise en œuvre de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, P : 22.
- **Ernest A, 2011**, Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé- Couffo (Afrique de l'ouest). P : 112
- **GEF/PNUD, 2010**, Seconde communication nationale de l'Algérie sur les changements climatiques a la CCNUCC.
- **Ghenim et al, 2013**, Analyse des précipitations dans le Nord-Ouest algérien. Article, Université de Tlemcen, P : 109.
- **Guerrache N, 2010**, Etude Comparative du Sol et de la Végétation des dunes fixées par *Retama retam*. Webb, *Tamarix gallica*. L et *Tamarix aphylla*. (L) Karst dans le cordon dunaire d'El-Mesrane (W.Djelfa).P :17.
- **Hallouz F, 2013**, Transport solide dans le bassin d'El oued Mina et sédimentation du barrage S.M.B.A, Thèse Doctorat Es Science, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique, Blida, 2013.
- **Hallouz F et al, 2016**, In ternational conference on African large River, Basins Hydrology. Dakar, Sénégal, du 26 novembre au 03 décembre 2016.
- **Hallouz F et Meddi M, 2016**, Analyse de la vulnérabilité des ressources en eau superficielle du bassin de l'oued Mina (Nord Ouest d'Algérie) dans un contexte de changement climatique : approche par indicateurs, P : 3
- **Hamenni, 2015**, Etude des ressources en eau dans le bassin versant de Soummam. Centre de recherche de Mehdi Boualem.
- **Koïchiro M et Hama Arba D, 2002**, Guide éducatif pour les enseignants, Préface du Kit pédagogique sur la lutte contre la désertification, P : 14,16
- **Lakhdari F, 2010**, Atelier Sécheresse, Analyse et Stratégies d'Adaptation, Biskra. P : 102.
- **Lebourgeois F et Piedallu C, 2005**, Appréhender le niveau de sécheresse dans le cadre des études situationnelles et de la gestion forestière à partir d'indices bioclimatiques, P : 335.
- **Laborde J-P et al, 2010**, Climate evolution and possible effects on surface water resources of North Algeria; CURRENT SCIENCE, VOL. 98, N°. 8,
- **Maoui A, 2007**, Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane : région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation P : 37 et PP :5.6.
- **Meddi M et Hubert, P 2003**, Impact de la modification du régime pluviométrique sur les ressources en eau du Nord-ouest. De l'Algérie Hydrologie des régions méditerranéennes et semi-arides (Actes d'un symposium international tenu à Montpellier, avril 2003).
- **Mermoud A, 2006**, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, cours de physique du sol ; Maitrise de la salinité des sols. P :1.
- **Niamey, 2009**, Interaction changements climatiques désertification en Algérie: Vulnérabilité des écosystèmes à la sécheresse et principes d'adaptation, P : 10.

Références bibliographiques

- **Niang A, 2008**, Les processus morpho dynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le sud-ouest de la Mauritanie. Approche par analyse multi source. Thèse Docteur en Sciences, Université de Liège .
- **OMM, 2012**, Organisation météorologique mondiale. Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. P : 6
- **ONM, 2016**, Office Nationale de la météorologie. Rapport des données annuelles de l'office national de météorologie, station de Djelfa.
- **Remenieras G, 1980**, L'Hydrologie de l'ingénieur, Edit .Eyrolles.
- **Roudier P, 2008**, Vulnérabilité des ressources en eau superficielle d'un bassin soudano-sahélien dans un contexte de changement climatique : approche par indicateurs. Ingénieur de l'ENGEES - Master 2 Risques Naturels. p : 41
- **Touazi M et Laborde P, 2000**, Cartographie des pluies annuelles en Algérie du Nord. Association Internationale de climatologie, P : 13, 192-198.
- **Yagoubi M et Temar T, 1997**, Impact du phénomène de la désertification sur le développement durable .Université de Msila – Algérie, P : 73.
- **Zagrar A, 2009**, Determination and analysis of the trend of desertification through the use of Alsat-1 satellite data and Landsat in the Algerian Steppe.

Annexes

Annexe 01 : Moyennes mensuelles de la précipitation en mm au niveau de la station de Djelfa durant (1984-2013).

Mois	P (mm)
Janvier	31.39
Février	27.69
Mars	29.14
Avril	29.44
Mai	34.93
Juin	19.46
Juillet	9.59
Août	19.71
Septembre	30.65
Octobre	25.64
Novembre	25.45
Décembre	27.84

(Source : ONM, 2016).

Annexe 02 : Variation moyennes mensuelles de la température au niveau de la station de Djelfa, durant (1984-2013).

Mois	Moy Tmin (°C)	Moy,T max(°C)	Moy T moy(°C)
Sep	14,26	27,38	20,8
Oct	9,82	21,52	15,53
Nov	6,58	14,62	9,35
Déc	2,51	10,88	5,76
Jan	0,47	9,70	4,70
Fev	1,45	11,60	6,00
Mar	3,40	15,1	9,21
Avr	6,08	17,87	12,38
Mai	10,41	23,62	16,99
Jui	15,43	30,01	22,84
Juill	18,55	34,1	26,94
Aoû	18,33	33,36	26,31

(Source : ONM, 2016).

Annexes

Annexe 03 : ETP moyennes mensuelles et annuelles calculées par la formule de THORNTHWAITE à la station de Djelfa (1984-2013).

Station	Station de Djelfa (1984-2013).			
Parameters Mois	T(°C)	F (m,)	I	ETP (mm)
Jan	4.7	0.88	68.26	7.79
Fév.	6	0.85	68.26	11.09
Mars	9.21	1.03	68.26	26.54
Avr	12.38	1.09	68.26	44.9
Mia	16.99	1.20	68.26	81.8
Jun	22.84	1.20	68.26	131.1
Jiu	26.94	1.22	68.26	173.18
Aoû	26.31	1.16	68.26	158.6
Sep	20.8	1.03	68.26	96.91
Oct	15.53	0.97	68.26	57.39
Nov	9.35	0.87	68.26	23
Dec	5.76	0.86	68.26	10.52
Moyenne annuelle	14.73	/	/	822.82

(Source : ONM, 2016).

Annexes

Annexe 04 : La vitesse de vent (m/s) à la station de Djelfa durant (1984-2013).

Mois	Vitesse de vent (m/s)
Jan	3,61
Fev	3,67
Mar	3,96
Avr	4,34
Mai	3,85
Jui	3,43
Juill	3,09
Aoû	2,89
Sep	2,85
Oct	3,08
Nov	3,32
Déc	4,03

(Source : ONM, 2016).

Annexe 05:La pluviométrie annuelle à la station d'Ain Maabed durant(1984-2009)

S1, Station 170204 ,Ain Maabed, Long: 167.4 Latit:539.6	
PLUVIOMETRIE ANNUELLE	
mm	
1984;	2009
1984;	148,63
1985;	180,58
1986;	162,3
1987;	120,62
1988;	190,69
1989;	251,74
1990;	177,40
1991;	290,85
1992;	189,12
1993;	86
1994;	227,8
1995;	350,28
1996;	191,7
1997;	283,74
1998;	245,7
1999;	245,3
2000;	115,34
2001;	213,4
2002;	188,6
2003;	300,2
2004;	176,44
2005;	367
2006;	204,6
2007;	149
2008;	322,18
2009;	230,33

(Source : ONM, 2016).

Annexes

Annexe 06 :La pluviométrie annuelle à la station de Mergueb Ben Haffaf durant (1984-2009)

```
S2, Station 170219,Mergueb Ben Haffaf,Long: 148,55 Latit: 545,35  
PLUVIOMETRIE ANNUELLE  
mm  
1984;2009  
1984;144,38  
1985;60  
1986;176,3  
1987;33  
1988;151,5  
1989;241,8  
1990;127,92  
1991;146,67  
1992;40,7  
1993;60,5  
1994;180,5  
1995;193  
1996;133,30  
1997;68,26  
1998;190,19  
1999;64,95  
2000;80,22  
2001;119,67  
2002;164,90  
2003;196,13  
2004;150,51  
2005;279,15  
2006;213,75  
2007;229,98  
2008;320,39  
2009;221,37
```

(Source : ONM, 2016).

Annexes

Annexe 07:La pluviométrie annuelle à la station de Djelfa durant (1984-2009) .

S3, Station 170208,Djelfa,Long:153 Latit:551	
PLUVIOMETRIE ANNUELLE	
mm	
1984;	2009
1984;	95,39
1985;	169,4
1986;	195,10
1987;	84,50
1988;	162,9
1989;	215,8
1990;	136,62
1991;	147,56
1992;	94,7
1993;	64,3
1994;	243,1
1995;	207,2
1996;	126,98
1997;	84,70
1998;	115,8
1999;	123,2
2000;	101,3
2001;	136,2
2002;	197,53
2003;	264,4
2004;	202,28
2005;	296,30
2006;	277,6
2007;	277,5
2008;	481,03
2009;	342,96

(Source : ONM, 2016).

