

Centre Universitaire AbdelhafidBoussouf - Mila
Institut des Sciences et de Technologie
Département de Sciences et Technologie



N°Ref :.....

Projet de Fin d'Etude préparé en vue de l'obtention du diplôme
de MASTER

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Contribution à l'étude de la sécheresse météorologique
dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Nord-Ouest
de l'Algérie)

Réalisé par :

- REMMACHE Linda
- KARAOUET Fawzia

Soutenu devant le jury :

M. YAHIAOUI Khemissi
M. KOUSSA Miloud
M. BERHAIL Sabri

Président
Examinateur
Promoteur

Année universitaire : 2018/2019



Remerciement Remerciement

Avant tous, nous tenant à remercier le bon Dieu

Le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage

De mener à bien ce modeste travail

*Également nous remercions infiniment nos parents, qui nous
encouragé et aidé à arriver à ce stade de notre formation.
nous tenant à remercier tous ceux et celle qui ont contribué à
finaliser ce modeste travail.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche
et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de
Dr BERHAIL SABRI, on le remercie pour la qualité de son
encadrement exceptionnel, pour sa patience, sa rigueur et sa
disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.
Enfin Nos profonds remerciements vont également à toutes les
personnes qui nous ont aidés et soutenue de près ou de loin.*

Le Tous Merci

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance :

À ma mère, que dieu la miséricorde.

À mon père, pour son amour et son soutien moral depuis mon enfance

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à ma sœur, Hala que le j'adore.

À tous les membres de ma famille ; mes frères (Azou, Amar), mes Sœurs (Nassima, Leïla, Houda), et à tous mes nièces (Meriem, Abdou, monder, Khaled, Issa, Zineb, Loudjain, Ibtissel et Meryouma.

À tous mes cousines : Souad, Aïcha, Soumeïa, Hayet, Wassila, Dounia

A mon binôme LINDA

A tous mes amies

A tous mes collègues de la promotion

Et à tous qui m'ont connu et aidé de près et de loin dans la réalisation de ce Travail.

Fawzia



Dedicace

A l'homme de ma vie, Mon exemple éternel
Mon soutien moral et source de joie et de bonheur,
celui qui s'est toujours sacrifié pour
Me voir réussir, que dieu te garde,
à toi Mon père NAGUIB

A la lumière de mes jours,
La source de mes efforts, la flamme de
mon coeur, ma vie et mon bonheur ; maman RACHIDA
Que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé
La présence dans ce jour,
À Mon frère : Ali ET sa femme Asma et le petit nounou
À mes frère: Amir ET Mon petit Aissa
À ma chère soeur Zina ,
Son Mari Lotfi et ses enfants Sirin, Aymen et Silia.

Je dédie ce
Travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour
leurs conseils, aides, et encouragement.
À mes chère amies et copines que je les aime et que je les estime
chacune à son nom et en particulier : Faiza, Amira, Mouna, Sihem,
Sara.....et toute ma grande famille..

À mon binôme: fawzia.

A tous mes collègues de promotion 2019.

Et tous ceux que j'aime et qui m'aiment

linda

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Sommaire.....	IV
Liste des tableaux.....	VIII
Liste des figures.....	X
Résumé.....	XII
Abstract.....	XIII
ملخص.....	XIV
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

Introduction.....	2
I.1. Le climat et les changements climatiques.....	2
I.1.1.L'effet de serre comme phénomène naturel.....	2
I.1.2. Le changement climatique.....	3
I.1.3. Les effets du changement climatique.....	3
I.2. La sécheresse.....	3
I.2.1.Définition de la sécheresse.....	3
I.2.2. Les types de sécheresse	4
I.2.2.1. La sécheresse de type météorologique.....	4
I.2.2.2. La sécheresse de type agricole.....	4
I.2.2.3. La sécheresse de type hydrologique.....	4
I.2.2.4. La sécheresse socio-économique.....	4
I.3. Relation entre les différents types de sécheresse.....	4
I.4. Conséquences et impact de la sécheresse.....	5
I.4.1. Conséquence sur la qualité de la ressource.....	5
I.4.2. Conséquences économiques.....	6
I.4.3. Conséquences sociales.....	6
I.4.4. Conséquences sur la santé.....	7
I.5. Indicateurs de sécheresse.....	7
I.5.1. Indice de sécheresse de Palmer (ISP).....	7
I.5.2. Indice Standardisé des Précipitations (SPI).....	7
I.5.3. Indice d'humidité des cultures (CMI).....	7
I.5.4. Indice de l'approvisionnement en eau de surface (SWSI).....	8
I.5.5. Les déciles.....	8
I.5.6.Indice de reconnaissance de sécheresse (RDI).....	8
I.6.Quelques études réalisées sur la sécheresse en Algérie.....	9
Conclusion.....	10

CHAPITRE II : Présentation de la zone d'Etude

II.1. Présentation de la zone d'étude	11
II.1.1. Situation géographique de bassin versant de Macta	11
II.1.2. Situation géographique de bassin versant d'oued Mekkera.....	12
II.2. Caractéristiques Morphométriques du bassin	13
II.2.1. Indice de Gravilius (ou compacité).....	14
II.2.2. Rectangle équivalent.....	14
II.2.3. Longueur du cours d'eau principale (THALWEG).....	15
II.2.4. Relief et courbe hypsométrique du bassin versant.....	16
II.2.5. Courbe hypsométrique.....	17
II.2.6. Indice de pentes.....	19
II.2.7. Tableau récapitulatif.....	21
II.3. Végétation et géologie.....	22
II.4. Cadre géologique du bassin de l'oued Mekerra.....	23
II.4.1. Bordure Nord.....	23
II.4.2 .Bordure Sud.....	23
II.4.3 .Bordure Ouest.....	24
II.4.4 .Bordure Est.....	24
II.5. La série stratigraphique.....	24
II.5.1. Le Quaternaire.....	24
II.5.2 .Le Cénozoïque.....	24
II.5.2.1. Le Pliocène.....	24
II.5.2.2. Le Miocène.....	25
II.5.2.3.L'Oligocène.....	25
II.5.2.4.L'Eocène.....	25
II.5.3. Le Mésozoïque.....	25
II.5.3.1. Le Crétacé moyen et supérieur.....	25
II.5.3.2. L'Aptien.....	25
II.5.3.3. Le Barrémien.....	26
II.5.3.4. L'Hauterivien.....	26
II.5.3.5. Le Berriasien – Valanginien.....	26
II.5.3.6. Le Portlandien.....	26
II.5.3.7. Le Kimméridgien Supérieur.....	26
II.5.3.8. Le Trias.....	26
II.5.4. Tectonique.....	26
II.5.5. Contexte hydrogéologique.....	27
II.5.5.1. Nappe des calcaires et dolomies Jurassico – Crétacé.....	28
II.5.5.2. Nappe des calcaires de Zygine.....	29
II.5.5.3. Nappe des calcaires Eocènes.....	29
II.5.5.4. Nappe des grès pliocènes.....	29
II.5.5.5. Nappe du Plio- quaternaire.....	29

Conclusion.....	30
II.6. Hydro-climatologie.....	31
II.6.1. Caractéristiques hydrologiques	31
II.6.1.1 Précipitation.....	31
II.6.1.2 Température.....	32
II.6.1.3 Climat.....	32
II.6.1.4 Diagramme Ombrothermique.....	34
II.6.2. Bilan Hydrique.....	35
II.6.2.1. Evapotranspiration.....	35
II.6.2.2. Ruissellement (R).....	36
II.6.2.3. Infiltration (I).....	37
II.7. Analyse de la pluviométrie.....	40
II.7.1. Analyse statistique des données pluviométriques.....	40
II.7.2. Caractéristiques des postes pluviométriques.....	41
II.7.3. Variation des précipitations annuelles dans le temps et dans l'espace.....	41
II.7.3.1. Variation temporelle.....	41
II.7.3.1.1. la méthode de la moyenne arithmétique.....	41
II.7.3.1.2. Variation spatiale.....	43
II.7.4. Variation des précipitations mensuelle et le régime saisonnier.....	43
II.7.4.1. Variation des précipitations mensuelles.....	43
II.7.4.2. Variation des précipitations saisonnières.....	45

CHAPITRE III : Outils et méthodes

Introduction	47
III.1. Origine des données.....	47
III.2. Etude de la sécheresse via les indices climatiques.....	48
III.2.1. Indice standardisé de précipitations SPI	48
III.2.2. L'indice de déficit pluviométrique (IDP)	49
III.2.3. L'indice de pluviosité (Ip)	50
III.2.4. L'indice de sécheresse (IS)	50
Conclusion.....	50

CHAPITRE IV : Résultat et discussions

Introduction	51
IV.1. Indice standardisé de précipitation SPI	51
IV.2. L'indice de déficit pluviométrique (IDP).....	55
IV.3. L'indice de pluviosité (IP).....	58
IV.4. L'indice de sécheresse (IS)	59
CONCLUSION GENERALE.....	61
BIBLIOGRAPHIE.....	62

Liste des tableaux

Tableaux II.1 : Surface et périmètre du bassin versant de l'Oued Mekker	14
Tableaux II.2 : Classification des ordres avec leurs longueurs	16
Tableaux II.3: La répartition des surfaces en fonction de classement des pentes	17
Tableaux II.4 : Classement des altitudes selon la superficie du bassin versant	18
Tableaux II.5 : Classification de l'ORSTOM pour différents reliefs	20
Tableaux II.6: Récapitulatifs des caractéristiques morpho métriques et hydrographiques de sous bassin versant de l'oued Mekker	21
Tableaux II.7 : Couverture terrestre du bassin de Mekker	22
Tableaux II.8: Précipitation moyennes mensuelles de l'Oued Mekker (1970-2011)	31
Tableaux II.9: Températures moyennes mensuelles d'Oued Mekker (1970-2011)	32
Tableaux II.10: Indice mensuel d'aridité	33
Tableaux II.11: Evapotranspiration potentielle annuelle (1970-2011) par la méthode de Thornthwaite	36
Tableaux II.12: Résultat de l'ETR par la méthode de TURC	36
Tableaux II.13: Résultats du ruissellement	37
Tableaux II.14 : Résultats de l'infiltration	37
Tableaux II.15: Estimation de taux d'infiltration	38
Tableaux II.16: Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE d'Oued Mekker (1970-2011)	38
Tableaux II.17: Caractéristiques des stations pluviométriques	41
Tableaux II.18: Paramètres statistiques des pluies moyennes annuelles (1970-2011)	42
Tableaux III.19 : Caractéristiques des stations pluviométriques	47
Tableaux III.20: Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI	48

Tableaux IV.21: Valeurs annuelles de l'Indice SPI dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (1970/2011).....53

Tableaux IV.22: Fréquences (en %) des classes de l'Indice SPI dans le bassin de l'Oued Mekerra (1970/2011).....54

Liste des figures

Figure I.1 : Relation entre les différents types de sécheresse.....	05
Figure I.2 : Représentation schématique du bilan évapotranspiration/alimentation de la nappe/ruissellement	09
Figure II.3 : Situation administrative du bassin versant de Macta.....	11
Figure II.4 : La limite de sus bassin versant d'oued Mekkerà	12
Figure II.5 : Situation géographique du bassin versant d'oued Mekkerà.....	13
Figure II.6 : Le réseau hydrographique du bassin versant d'oued Mekkerà.....	15
Figure II.7 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued de Mekkerà.....	17
Figure II.8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mekkerà.....	18
Figure II.9 : Carte géologique du bassin de l'oued Mekerra	23
Figure II.10 : Les principales nappes de la région.....	28
Figure II.11 : Variations des précipitations moyennes mensuelles d'Oued Mekkerà (1970-2011).....	31
Figure II.12 : Variations des températures moyennes mensuelles d'Oued Mekkerà (1970-2011).....	32
Figure II.13 : Diagramme Ombrothermique (1970-2011).....	34
Figure II.14 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques.....	39
Figure II.15 : Bilan de l'eau de C.W THORNTHWAITE du bassin de l'Oued Mekkerà.....	39
Figure II.16 : Localisation des stations pluviométriques, hydrométrique et climatologique dans le bassin de l'oued Mekerra.....	40
Figure II.17 : Histogramme des précipitations moyennes interannuel dans le bassin versant de l'oued Mekkerà (1970-2011).....	42
Figure II.18 : Variation annuelle des précipitations moyenne des stations (1970-2011).....	43
Figure II.19 : Précipitation moyennes mensuelles (1970-2011).....	44
Figure II.20 : Précipitation moyennes mensuelles (1970-2011).....	44
Figure II.21 : Evolution de la pluviométrie saisonnière (1970-2011).....	45

Figure II.22 : Précipitation saisonnière dans le bassin versant de l’oued Mekerra (1970-2011).....45

Figure IV.23 : Indice de Précipitations Standardisé (SPI) pour les stations étudiées durant la période 1970-2011.....52

Figure IV.24 : Indice de Précipitations Standardisé (SPI) dans le bassin versant de l’Oued Mekkera durant la période 1970-2011.....54

Figure IV.25 : Pourcentages des fréquences de l’indice SPI annuel dans le bassin versant de l’Oued Mekkera durant la période 1970-2011.....55

Figure IV.26 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) pour les stations étudiées durant la période 1970-2011.....57

Figure IV.27 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) dans le bassin versant de l’Oued Mekkera durant la période 1970-2011.....58

Figure IV.28 : Indice de Pluviosité (IP) dans le bassin versant de l’Oued Mekkera durant la période 1970-2011.....59

Figure IV.29 : Indice de Sécheresse (IS) dans le bassin versant de l’Oued Mekkera durant la période 1970-2011.....60

Résumé

Le but de ce mémoire est d'analyser l'évolution des précipitations dans le temps, ce travail s'est basé sur l'étude de séries de données de quelques stations pluviométriques réparties sur le bassin versant de l'Oued Mekkera.

Quatre indices de sécheresse qui prennent uniquement les précipitations comme données de base ont été comparés, il s'avère que l'indice SPI est le plus performant pour tous types de climat.

Cette étude qui s'appuie sur le calcul d'un certain nombre d'indices a permis de rendre compte de l'extrême variabilité des pluies dans notre bassin. Elle montre aussi le caractère sévère et durable de la sécheresse climatique observée dans cette région à partir de 1970 jusqu'à 2005. Elle met aussi en évidence, le retour vers une phase humide notée à partir de 2006 jusqu'à 2011.

Cette sécheresse, dans le sens d'une diminution de la pluviométrie annuelle, donne à réfléchir pour mieux gérer une ressource hydrique sans cesse décroissante face à une demande sans cesse en augmentation.

Mots-clés : Variabilité climatique, Oued Mekkera, Régime pluviométrique, Indices pluviométriques.

Abstract

The purpose of this memory is to analyze the evolution of rainfall over time, this work was based on survey data sets of a few rainfall stations spread over the Mekker catchment.

Four indices of drought that take only precipitation as baseline data were compared, it turns out that the SPI index is the best performer for all types of climate.

This study based on the calculation of a number of indices has to account for the extreme variability of rainfall in our basin. It also shows the severe and lasting climate of drought observed in this region from 1970 to 2005. It also highlights the return to a wet phase recorded from 2006 to 2011.

This drought, in the direction of a decrease in annual rainfall gives us a better idea to better manage an ever-decreasing water resource in the face of an ever-increasing demand.

Keywords: Climatic variability, Mekker catchment, Rainfall regime, drought indices.

ملخص:

الغرض من هذه المذكرة هو تحليل تطور هطول الأمطار على مر الزمن، يستند هذا العمل على دراسة سلاسل المعطيات لبعض محطات رصد الأمطار الموزعة عبر الحوض واد مكارا. تم مقارنة أربعة مؤشرات للجفاف والتي تعتمد سوى على بيانات هطول الأمطار، واتضح أن مؤشر SPI هو الأفضل أداء لجميع أنواع المناخ. هذه الدراسة، التي تستند إلى حساب عدد معين من المؤشرات، مكّنتنا من حساب التباين الشديد لهطول الأمطار في حوضنا. كما يوضح الطبيعة الشديدة والدائمة لجفاف المناخ الذي لوحظ في هذه المنطقة من عام 1970 إلى عام 2005. ويبرز أيضاً، العودة إلى المرحلة الرطبة التي لوحظت في الفترة من 2006 إلى 2011. هذا الجفاف، بمعنى الحد من هطول الأمطار السنوي، يعطي وقفة لإدارة أفضل للموارد المائية المتضائلة باستمرار في مواجهة الطلب المتزايد.

الكلمات المفتاحية: التقلبات المناخية، وادي مكارا، نظام سقوط الأمطار، مؤشرات الجفاف.

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE :

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

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

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

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

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

Le second chapitre se départage en deux parties principales : la première partie présente le bassin versant de l'Oued Mekkera, en traitant ses principales caractéristiques (situation, géologie, morphologie, etc), la deuxième partie aborde les aspects relatifs à l'hydroclimatologie dont le but est d'établir un bilan hydrologique du bassin versant.

Le troisième chapitre est dédié à la description détaillée des indices climatique utilisé dans notre étude afin de caractériser la sécheresse dans le bassin versant de l'Oued Mekkera.

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

CHAPITRE I

Synthèse bibliographique

INTRODUCTION :

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

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

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

I.1.LE CLIMAT ET LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES :

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

I.1.1. L'effet de serre comme phénomène naturel :

Dans l'atmosphère (qui entoure la Terre) on retrouve une couche de gaz : les gaz à effet de serre. Cette couche de gaz agit comme les fenêtres d'une serre et capte la chaleur du soleil. Les rayons du soleil traversent cette couche de gaz et s'en vont réchauffer la surface de la Terre. La surface de la Terre, ainsi réchauffée, réémet des radiations vers l'atmosphère. Toutefois, la couche de gaz à effet de serre absorbe une grande quantité de ces radiations, les empêchant de retourner dans l'espace. Ceci augmente la température à la surface de la Terre en assurant une température moyenne globale de 15°C, Sans l'effet de serre, la température à la surface de la Terre serait de -18°C [1].

Depuis l'ère industrielle, les êtres humains ont augmenté la concentration des gaz à effet de serre, dans l'atmosphère, en raison de diverses activités : la combustion du charbon, du pétrole et du gaz naturel, la déforestation, la présence d'anciens dépotoirs et d'autres activités. Cette augmentation des gaz à effet de serre épaissit la couche de gaz qui capte alors plus de radiations, élevant ainsi la température globale à la surface de la Terre. Les scientifiques ont remarqué une augmentation de la température globale de 0,60C au cours du siècle dernier. Cette variation de la température, qui est très rapide, comparativement aux changements déjà arrivés sur Terre de façon naturelle, entraîne le changement climatique [2].

I.1.2. Le changement climatique :

Les changements climatiques se réfèrent à des changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables [3].

I.1.3. Les effets du changement climatique :

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

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

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

Les répercussions de ces impacts sur l'environnement sont les suivantes :

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

I.2. LA SECHERESSE :**I.2.1. Définition de la sécheresse :**

Une sécheresse se définit comme un déficit hydrique d'une composante (au moins) du cycle hydrologique [4], la sécheresse est un phénomène naturel qui pose de nombreux problèmes à travers le monde, dans les pays sous-développés, les effets peuvent être néfastes [5], selon [6], près de 1,3 milliards en sont mortes de causes directes ou indirectes, l'Algérie est particulièrement concernée par les effets du changement climatique sur l'augmentation en fréquence et en intensité des sécheresses.

I.2.2. Les type de sécheresse :

La sécheresse est aussi définie selon les différents secteurs qui interagissent avec ses effets. On définit donc une sécheresse du point de vue météorologique, hydrologique, agricole ou socio-économique [7].

I.2.2.1. La sécheresse de type météorologique :

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

La sécheresse de type météorologique est un phénomène naturel dû à des causes multiples, qui varient d'une région à l'autre [8].

I.2.2.2. La sécheresse de type agricole :

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

I.2.2.3. La sécheresse de type hydrologique :

Elle correspond à une diminution des réserves d'eau dans les cours d'eau, les réservoirs de surface et la nappe phréatique. La sécheresse hydrologique est causée par un manque de précipitations accompagné d'une évaporation massive. Cependant, des facteurs non météorologiques, comme la demande en eau, la disponibilité de réservoirs de surface et le forage de puits artésiens, en aggravent l'effet [8].

I.2.2.4. La sécheresse socio-économique :

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

I.3. Relation entre les différents types de sécheresse :

Les relations entre ces différents types de sécheresse sont illustrées par la figure 1.

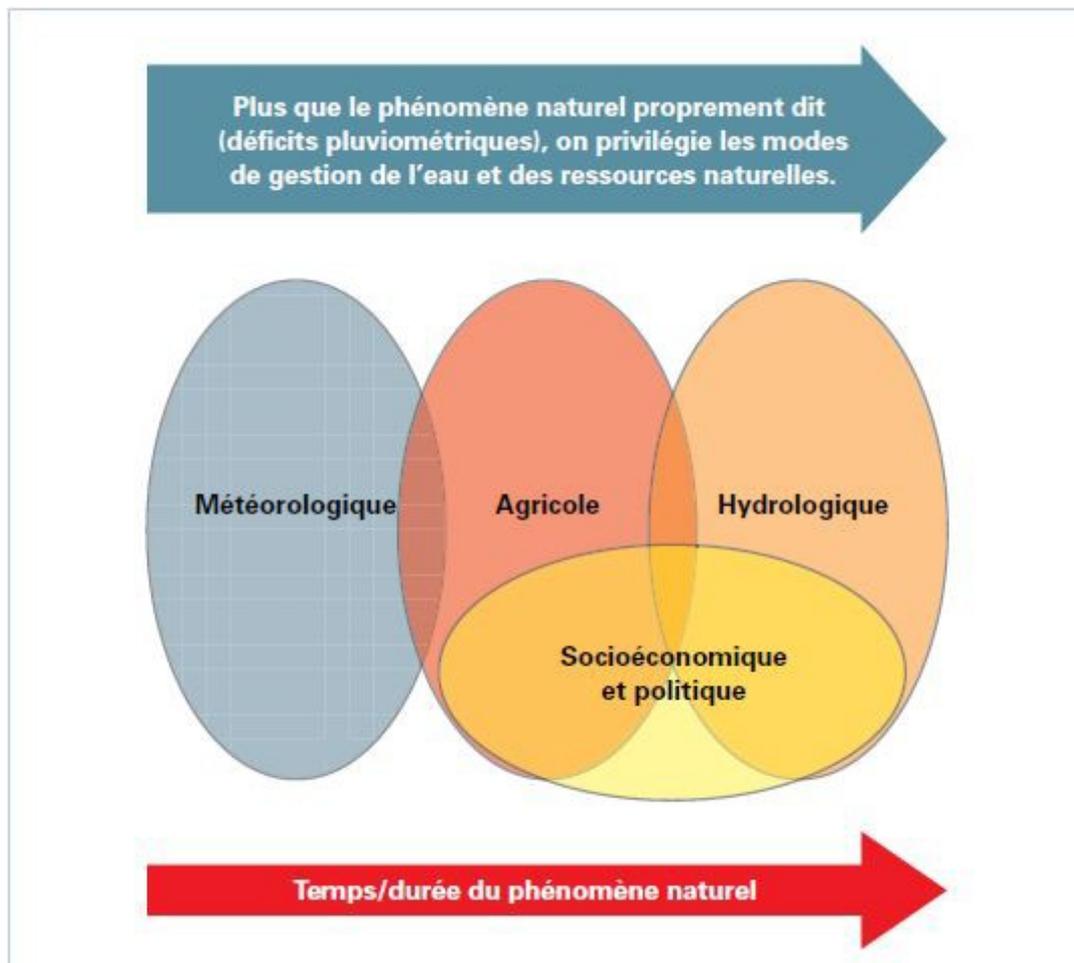


Figure I.1 : Relation entre les différents types de sécheresse (Source : Centre national de lutte Contre la sécheresse, Université du Nebraska–Lincoln, États-Unis d’Amérique)

I.4. Conséquences et impact de la sécheresse :

I.4.1. Conséquence sur la qualité de la ressource :

Risque accru de la pollution:

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

Augmentation des températures de l'eau:

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

Aggravation des conséquences de l'eutrophisation des plans d'eau:

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

I.4.2. Conséquences économiques :

Irrigation:

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

Elevage:

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

Tourisme:

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

Industrie:

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

Activités aquacoles et halieutiques:

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

I.4.3. Conséquences sociales :

La limitation des usages (arrosage des jardins, lavage des voitures, arrosage des terrains de sport) peut engendrer des conflits d'usage importants sur les secteurs les plus touchés : actes de

malveillance, manifestations, voire des différends pour l'accès à l'eau qui se règlent « à coup de fusil » comme pendant la sécheresse de 1989-1990.

I.4.4. Conséquences sur la santé :

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

I.5. Indicateurs de sécheresse

La difficulté de définir la sécheresse pousse les chercheurs à définir des indicateurs de ce phénomène, ces indicateurs permettent de déterminer d'une façon scientifique le seuil indiquant la sécheresse à différentes échelles de temps et de définir des classes d'appartenance à cet événement en fonction de sa sévérité et de sa position, ils assurent également le suivi de la sécheresse et la détection à différents stades de son évolution.

I.5.1. Indice de sécheresse de Palmer (ISP)

Palmer a fondé son indice sur le concept de l'offre et de la demande de l'équation d'équilibre de l'eau, en tenant compte plus que le déficit de précipitations à des endroits précis.

L'objectif de l'indice de sécheresse de Palmer (ISP) était de fournir des mesures des conditions d'humidité qui ont été normalisés de sorte que les comparaisons à l'aide de l'indice pourraient être faites entre les sites et entre les mois [9].

I.5.2. Indice Standardisé des Précipitations (SPI)

L'indice standardisé des précipitations (SPI) (Standardized Precipitation Index) [10] a été développé en vue de quantifier le déficit des précipitations pour des échelles de temps multiples qui vont refléter l'impact de la sécheresse sur la disponibilité des différents types de ressources en eau pour une période donnée.

I.5.3. Indice d'humidité des cultures (CMI)

L'indice d'humidité des cultures (CMI) (Crop Moisture Index) utilise une approche météorologique pour comparer les conditions d'humidité à différents endroits, parce qu'il est conçu pour surveiller les conditions d'humidité à court terme affectant un développement des cultures, la CMI n'est pas un bon outil à long terme de suivi de la sécheresse, cet indice définit les sécheresses en fonction de la magnitude et du déficit en évapotranspiration avec :

$$CMI = EAI + WI \quad (1)$$

Où :

WI : (Wetness Index) recharge du sol combinée au ruissèlement.

EAI : (Evaporation Anomaly Index) indice d'anomalie d'évaporation.

1.5.4. Indice de l'approvisionnement en eau de surface (SWSI)

L'indice d'approvisionnement en eau de surface (SWSI) (Surface Water Supply Index) est un indicateur normalisé qui permet de comparer différentes régions, généralement pour des périodes mensuelles, c'est un indicateur des conditions hydriques spécialement développé pour les régions où la fonte des neiges est la principale source d'écoulement des eaux superficielles.

Le SWSI est simple à calculer et donne une mesure de l'approvisionnement en eau superficielle, par contre, un réarrangement des stations amène à refaire les distributions de fréquence de chaque station et un changement dans l'exploitation du bassin signifie le développement d'un nouvel algorithme, Il est donc difficile de maintenir une série temporelle de cet index.

$$SWSI = \frac{[(a*PN_{sp})+(b*PN_{pcp})+(c*PN_{rs})-50]}{12} \quad (2)$$

Où : a, b, c sont les poids associés à chaque composante et a+b+c =1
 sp : couverture neigeuse équivalente en eau (mm) ; pcp : précipitation (mm)
 rs : réservoir (mm), PN : probabilité de ne pas excèdes (%).

1.5.5. Les déciles

Cette notion a été développée par Gibbs et Maher [11] pour pallier aux faiblesses du pourcentage à la normale, cette approche permet de connaître la fréquence d'un événement, elle divise la distribution des fréquences des événements en 10 parties représentant chacune 10 % de la distribution, ces déciles continuent jusqu'à ce que la quantité de pluie identifiée par le dixième décile soit la plus grande quantité de précipitations dans l'enregistrement à long terme, par définition, le cinquième décile est la médiane, qui est la quantité de précipitations ne dépassent pas 50% des occurrences sur la période d'enregistrement.

1.5.6 Indice de reconnaissance de sécheresse (RDI)

L'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI) (Reconnaissance Drought Index), qui est utilisé pour mesurer la gravité de la sécheresse en termes agricoles, parce que notre intérêt réside dans l'élaboration d'un outil pour aider les agriculteurs à se couvrir contre les risques de réduit le rendement agricole, notre approche utilisera l'indice de reconnaissance de sécheresse (RDI) [12, 13]), Pour toute période au cours d'année i, le RDI peut être calculée comme :

$$RDI^i = \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}}{\sum_{j=1}^m PET_{ij}}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, m, \quad (3)$$

Où P_{ij} et PET_{ij} sont la précipitation et l'évapotranspiration potentiel, respectivement, le mois j de l'année i, m est le nombre de mois observés dans l'année i, et N est le nombre d'années observées. L'évapotranspiration est une mesure du mouvement de l'eau à partir de la surface de la terre à l'atmosphère, elle est la somme de l'évaporation, tel que celui du sol et canopée, et la transpiration des plantes (Figure 2).

L'évapotranspiration potentielle ETP est l'évapotranspiration qui pourrait se produire où il y a approvisionnement en eau suffisant, compte tenu de la relation entre P et ETP, le RDI prend des

valeurs plus petites lorsque la sécheresse est plus sévère, ce qui rend notre choix de a mis l'option appropriée.

L'évapotranspiration potentielle est difficile à mesurer, car il dépend du type de plantes, le type de sol et les conditions climatiques, pour des raisons pratiques, nous allons donc utiliser la réelle plutôt que l'évapotranspiration potentielle dans notre estimation de la RDI, cela nous donne un nouveau RDI ajusté, qui peut être écrit comme [14] :

$$RDI_{aj}^i = \frac{\sum_{j=1}^m P_{ij}}{\sum_{j=1}^m ET_{ij}}, i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, m. \quad (4)$$

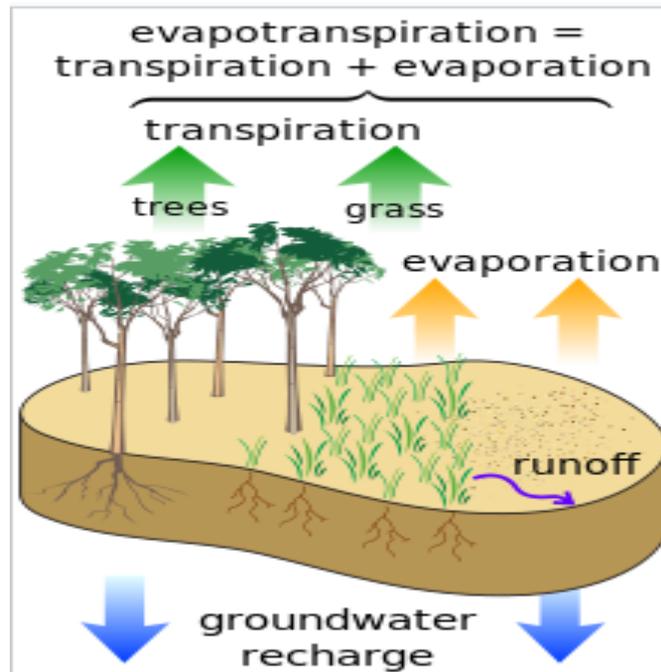


Figure I.2 : Représentation schématique du bilan évapotranspiration/alimentation de la nappe/ruissellement.

I.6. Quelques études réalisées sur la sécheresse en Algérie :

Selon l'étude de [15] ont fait une simulation des débits moyens mensuels en zone semi-aride (barrage de Beni-Bahdel), par l'application d'une analyse en composantes principales (A.C.P) et cela dans l'objectif de faire une bonne gestion des ressources en eau. Les sept premières composantes principales ont été retenue expliquant une variance de 89%, le résidu représente la perte de l'information dû à la négligence des autres composantes principales ; les résidus ont été analysé à l'aide des chaines de Markov. La simulation a abouti à des séries synthétiques utilisées donne la gestion des ressources en eau ces séries ont donné des résultats satisfaisant et ont montré la fiabilité de la méthode.

Une autre étude sur le phénomène de la sécheresse dans les régions littorales de l'Algérie a été faite par [16] à l'aide de 08 stations météorologiques (Ghazaouat, Oran, Arzew, Alger, Chlef, Skikda, Annaba et El kala) qui couvrent 48 ans d'observations pluviométriques annuelles et mensuelles (de 1954 à 2001). Les méthodes utilisées sont les estimations par le modèle Jack Nife et par Bootstrap. L'utilisation de ces simulations a permis d'illustrer clairement l'information chronologique des pluies à l'échelle temporelle et font distinguer deux périodes ; la période humide qui s'étale de 1954 à 1986 et la période sèche qui correspond à la dernière décennie (1990-2000). Selon ces deux méthodes, le déficit pluviométrique est bien remarqué à l'Ouest (notamment à Oran, Ghazaouat et Arzew), les régions du Centre et de l'Ouest ont vu un déficit pluviométrique supérieur à 50% et à l'Est, il était de 30%, durant la période (1987-2001). D'autres auteurs ont examiné les crues et les déficits pluviométriques au niveau du bassin versant de l'oued Mina, par la méthode de l'analyse en composantes principale (A.C.P) qui sert à optimiser les données pluviométriques annuelles et reconstituer les séries hydrologiques, sur une période d'étude de 30 ans (allant 1970/71 à 1999/00). Les résultats ainsi obtenus sur le comportement de la pluie moyenne sur la première composante principale mettent en évidence une période excédentaire allant de 1970/71 à 1980/81, puis une période déficitaire de 1981/82.

L'étude faite par les auteurs concerne le Nord-Ouest de l'Algérie [17]. La méthode utilisée est le modèle numérique PLUVIA, qui permet l'établissement de la carte de la répartition spatiale de la pluviométrie à l'échelle mensuelle. Cette technique a permis de tracer les cartes pluviométriques des mois de janvier, mars et novembre en fonction de la topographie. L'avantage de cette méthode montre l'influence des paramètres topographiques sur la distribution spatiale des pluies à l'échelle régionale et locale. Les résultats obtenus montrent que, les pluies mensuelles augmentent du sud au nord et de l'ouest à l'est. La partie littorale et les sommets qui lui sont proches reçoivent les pluies les plus importantes et les régions intérieures reçoivent moins de pluies du fait de l'appauvrissement des masses nuageuses de leurs humidités au fur et à mesure qu'elles se dirigent vers l'intérieur.

Conclusion :

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

CHAPITRE II

Présentation de la zone

D'étude

II.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

II.1.1. Situation géographique de bassin versant de Macta :

Le bassin versant Macta fait partie du grand bassin hydrographique «le grand Chatt Chergui »situé en Algérie occidentale entre les altitudes 36°0'0''Net 34°15'0''N et entre les longitudes 0°30'0''E et 1°10'0'' O.

Il recouvre une superficie totale de 14648,34 km² et un périmètre environ 730,90 km .il s'étend sur les wilayas à savoir : Sidi bel Abbès, Tlemcen, Mostaganem, mascara, Saïda (Figure 3).

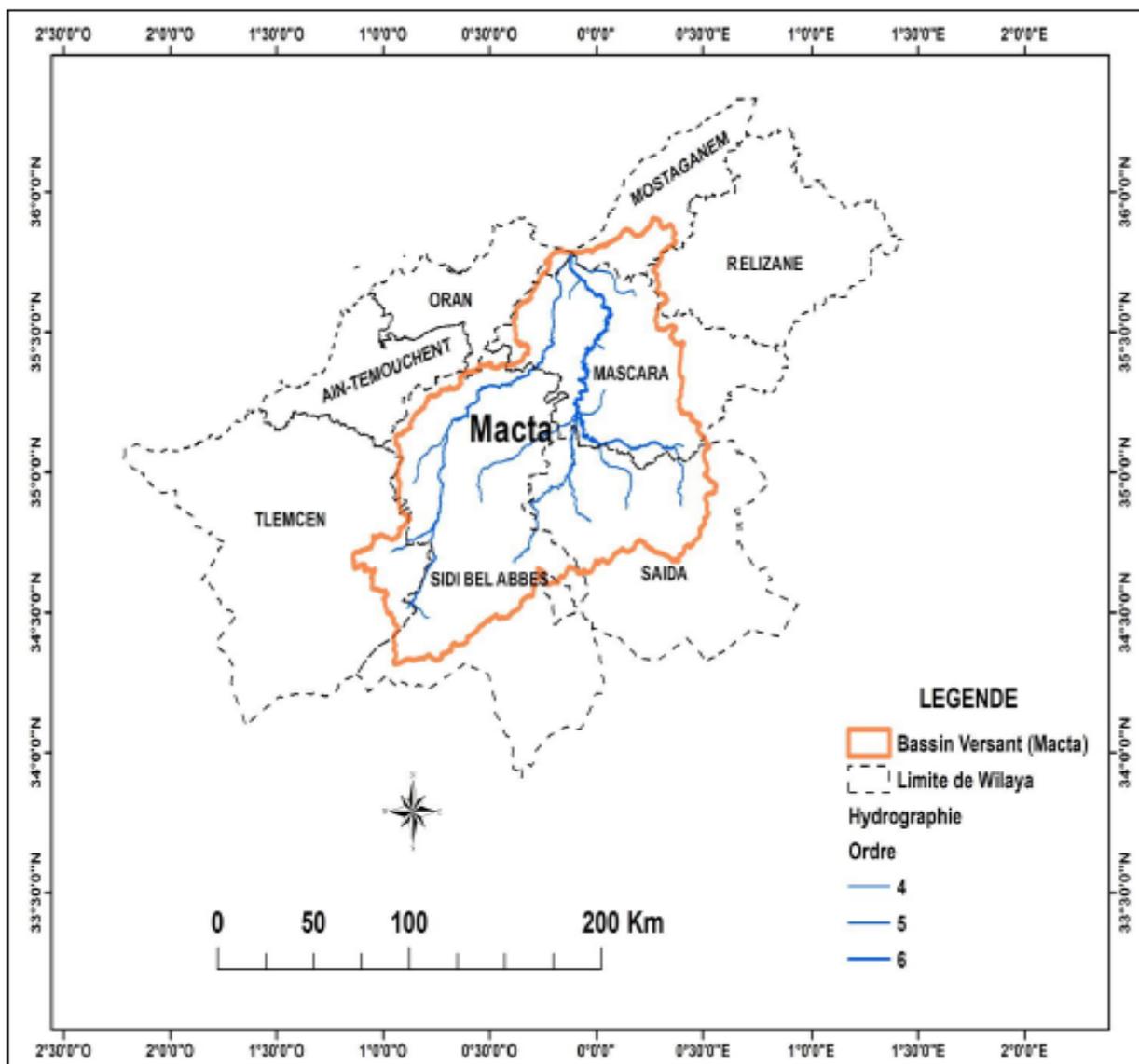


Figure II.3 : Situation administrative du bassin versant de Macta [17]

Le bassin versant Macta sous le code d'ANRH n°11, il se divise en 16 sous bassins, permis eux la partie de bassin versant de l'oued Mekkara, qui celle la région concernée par notre études (Figure 4).

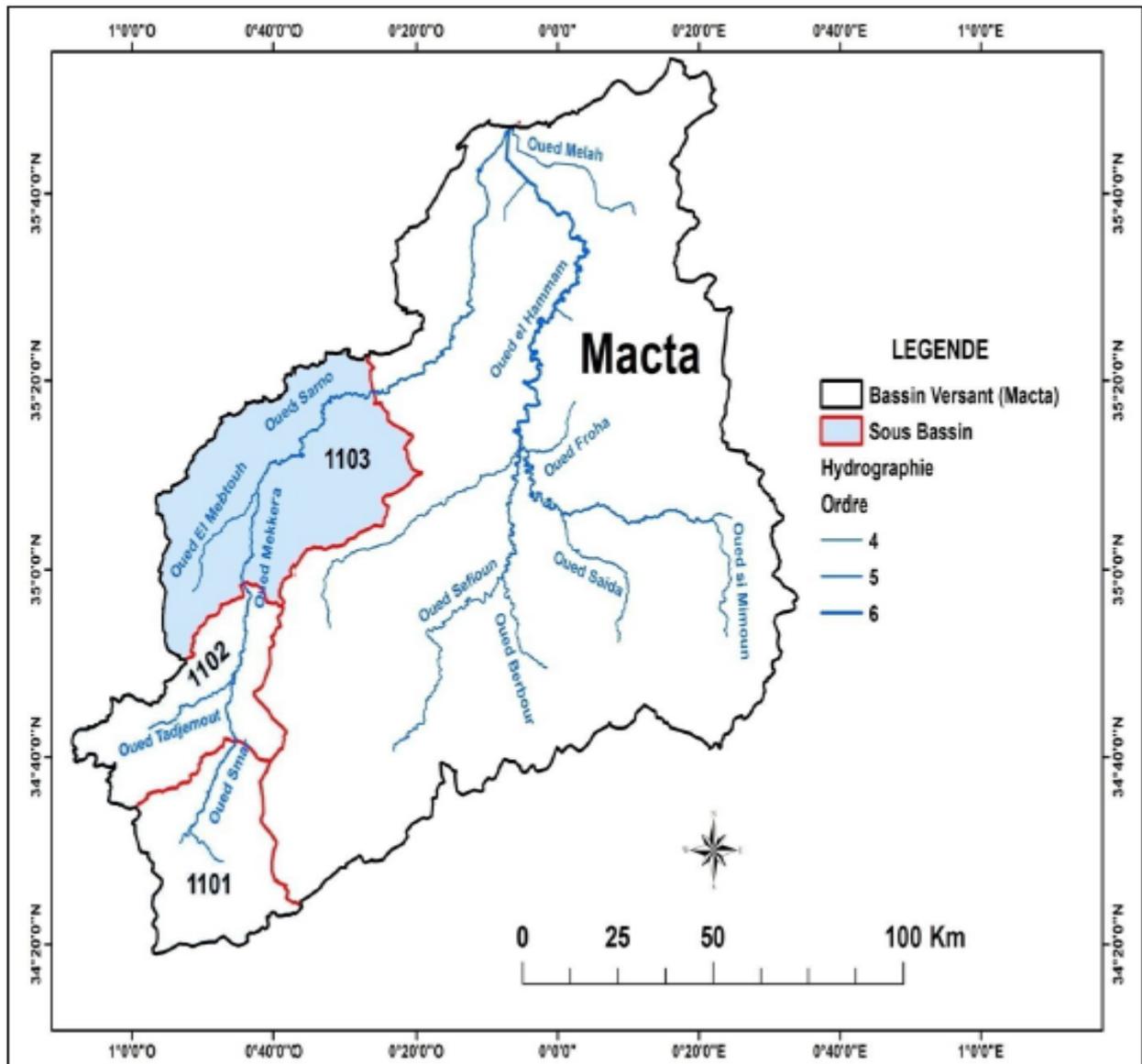


Figure II.4 : La limite de sus bassin versant d'oued Mekkera [17]

II.1.2. Situation géographique de bassin versant d'oued Mekkera :

Cette étude concerne le sous bassin versant de Mekkera, ce dernier occupe une superficie de 1094,22 km² et de périmètre 195,32 km comprise entre les altitudes 35°25'0"N et 34°50'0"N et entre les longitudes 0°20'0"O et 1°0'0" O.

Du point de vue géomorphologique le bassin versant de l'oued mekkera peut être subdivisé en trois parties : haciba (1101), sidi Ali Ben ayoub (1102), et la ville de Bel Abbes (1103) (qui correspond à notre recherche), chaque une à une station de jaugeage (station hydrométrique) (Figure 5).

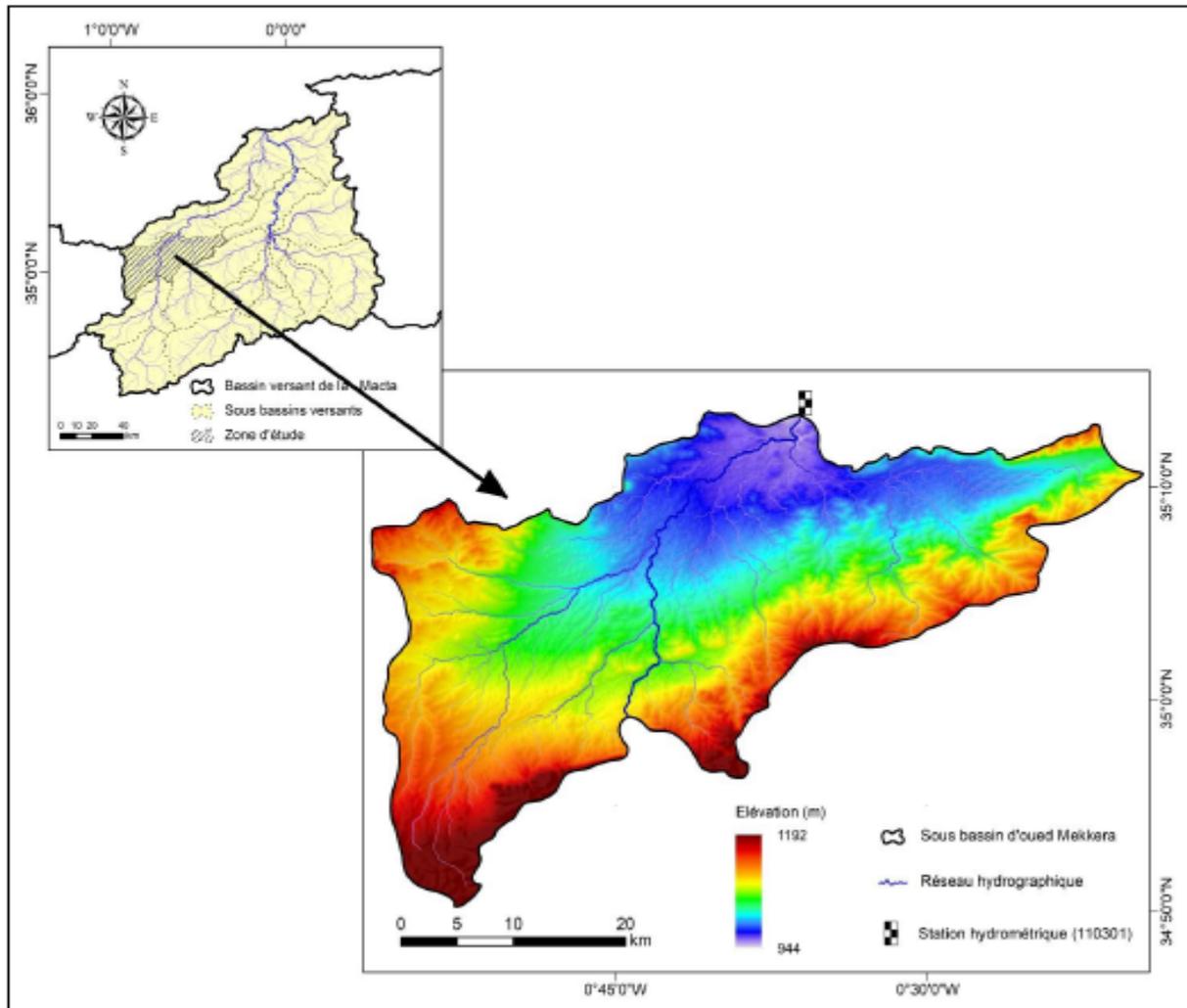


Figure II.5 : Situation géographique du bassin versant d'oued Mekkera [17].

II.2. CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES DU BASSIN :

Pour mieux comprendre le comportement hydrologique du bassin versant de l'Oued Mekkera, il est impératif de connaître ces caractéristiques morphométriques (forme, relief, altitude, pente, densité de drainage) qui expliquent le cycle de transformation des pluies en écoulements et s'apprentent à une analyse quantifiée.

- **Superficie du bassin versant :**
La surface du bassin égale à 1094.22 Km².
- **Périmètre du bassin versant :**
Le périmètre du bassin versant estimé à 195.32 Km.

Tableau II.1 : surface et périmètre du bassin versant de l'Oued mekkera

Superficie (km ²)	Périmètre (km)
1094.22	195.32

II.2.1 Indice de Gravilius (ou compacité) :

Cet indice est un paramètre de forme, son utilisation pour caractériser la forme du bassin est très répandue en hydrologie. L'idée la plus simple est de comparer le bassin étudié à un bassin de forme standard. C'est ainsi que Gravilius (1861-1939), a proposé en 1914 le coefficient de compacité (compactes coefficient) défini comme le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface.

$$C = 0.28 P / \sqrt{S}$$

P : le périmètre du bassin versant (Km).

S: la surface du bassin versant (Km²).

Ce coefficient est égal 1 lorsque le bassin versant est parfaitement circulaire. Il est égal à 1.12 dans le cas d'un bassin versant carré, et il peut atteindre la valeur 3 pour des bassins versants allongés.

Le bassin versant d'Oued Mekkera a un coefficient de compacité égal à 1.67, ce qui traduit son allongement et un développement de l'érosion linéaire.

II.2.2 Rectangle équivalent :

Le rectangle équivalent est défini comme étant le rectangle de longueur (L) et de largeur (B) qui a la même surface (S) même périmètre (P), même indice de compacité (C) et même hypsométrie que le bassin versant étudié.

Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur influence sur l'écoulement.

$$L = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

Avec :

C : indice de compacité ;

S : Superficie du bassin versant en km² ;

L : longueur du rectangle équivalent en km.

La largeur du rectangle "B" est déterminée en fonction de la surface du bassin versant "S" et la longueur du rectangle "L"

$$B = \frac{C \cdot \sqrt{S}}{1.128} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.128}{C} \right)^2} \right]$$

II.2.3 Longueur du cours d'eau principale (THALWEG) :

La longueur du cours d'eau principal est une grandeur très utilisée dans les calculs hydrologiques, c'est la distance mesurée le long du cours d'eau principal du bassin, à partir de l'exutoire de ce dernier jusqu'à la fin du cours d'eau ;

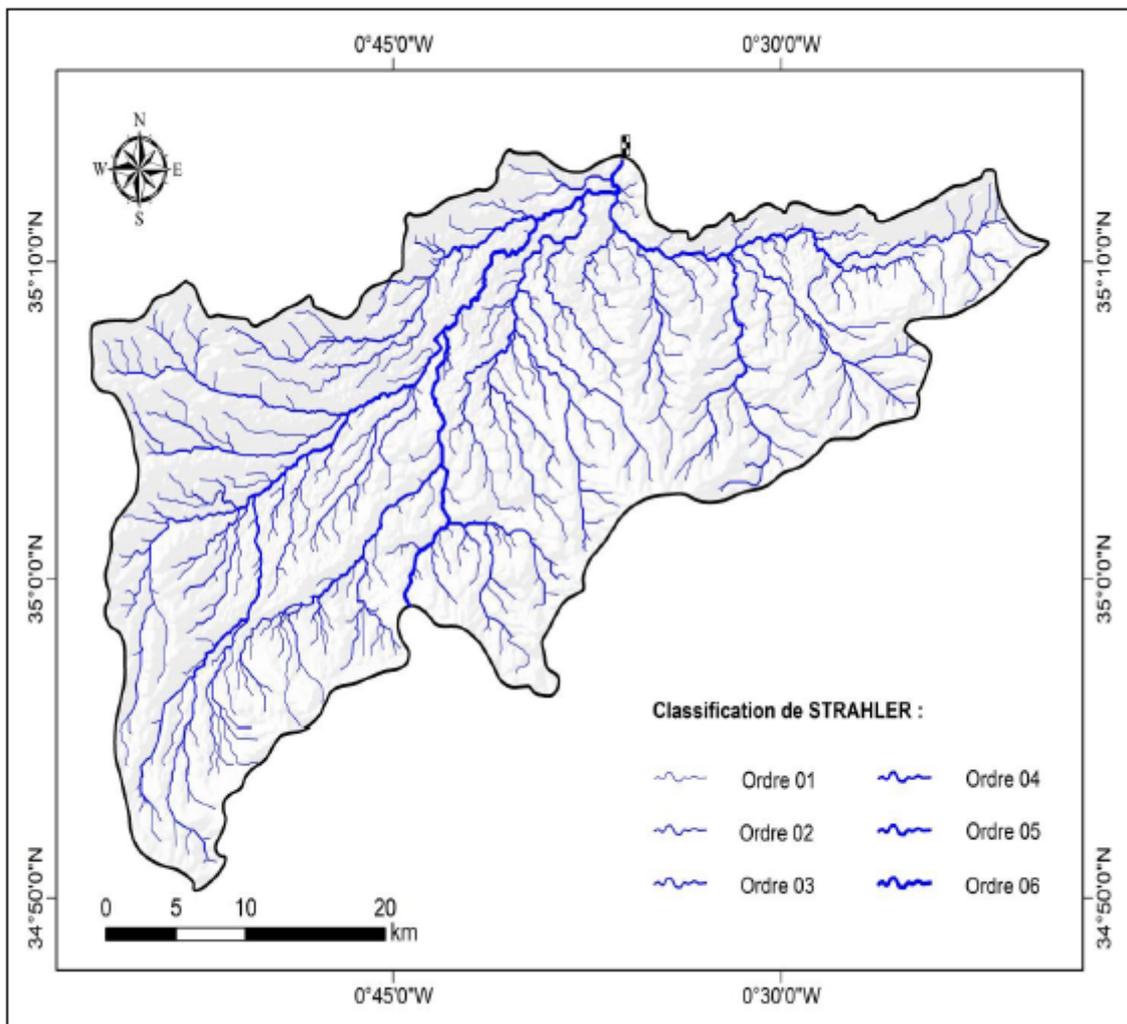


Figure II.6 : Le réseau hydrographique du bassin versant d'oued Mekkera [17]

Tableau II.2 : Classification des ordres avec leurs longueurs

Ordre	Nombre des cours d'eau	Longueur des cours d'eau (km)
1	453	555.85
2	210	273.25
3	30	169.35
4	9	68.98
5	2	27.51
6	1	37.73

II.2.4 Relief et courbe hypsométrique du bassin versant :

L'influence du relief sur l'écoulement de surface est chose évident il est souvent caractérisé par la courbe hypsométrique du bassin.

Les courbes hypsométriques sont une caractéristique topographique du bassin versant. Elle exprime la répartition de la surface totale en fonction des altitudes.

Les courbes hypsométriques est considère comme une sorte de profil du bassin et sa pente moyenne en m/km^2 .

Le relief possède une influence directe sur les facteurs climatiques et une influence indirecte sur la formation des écoulements de surface qui est un facteur important au cours des crues. Il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydraulique d'un bassin.

Le relief joue un rôle essentiel sur le régime de l'écoulement. Il est indiqué par les courbes de niveau et est caractérisé par la courbe hypsométrique (Figure 7).

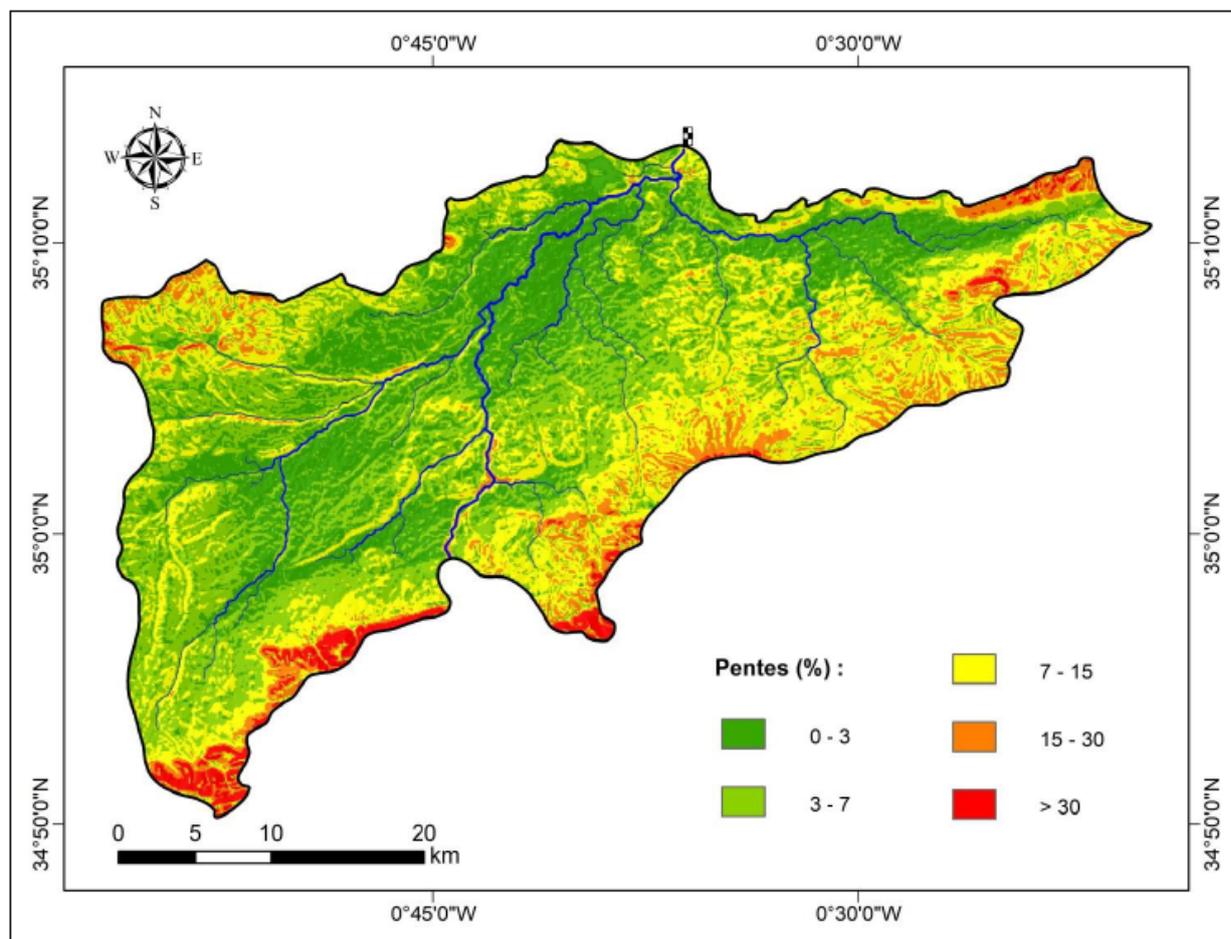


Figure II.7 : Carte des pentes du bassin versant de l'Oued de Mekkera [17].

Le bassin est caractérisé par des pentes plus ou moins abruptes; Selon le tableau 3, environ 24% (272 km²) de la zone du bassin versant est constitué de pentes inférieures à 7%, plus de 70% de la superficie (235 Km²) est constituée de pentes variant entre 3% et 30%. Alors que les terres avec des pentes supérieures à 30% représentent environ 29.55 Km² avec 2.70% de la superficie totale du bassin versant d'Oued Mekkera.

Tableau II.3: La répartition des surfaces en fonction de classement des pentes

Classe	Pente (%)	Surface (km2)	Surface (%)
1	0-3	272.66	24.92
2	3-7	359.90	32.89
3	7-15	325.55	29.75
4	15-30	106.61	9.74
5	>30	29.55	2.70

II.2.5 Courbe hypsométrique :

C'est une courbe exprimant le pourcentage de superficie du bassin versant au-delà d'une certaine élévation.

La courbe hypsométrique montre que plus l'altitude augmente plus le pourcentage des superficies diminue du bassin versant, cette dernière présentent une allure moyennement concave qui indique un relief bas et un développement de la plaine influencée par une forte érosion vers l'amont du versant vers les basse d'altitudes, cette courbe prene une forme convexes au niveau des zones d'épandages ou s'étalent les alluvions des cours d'eau.

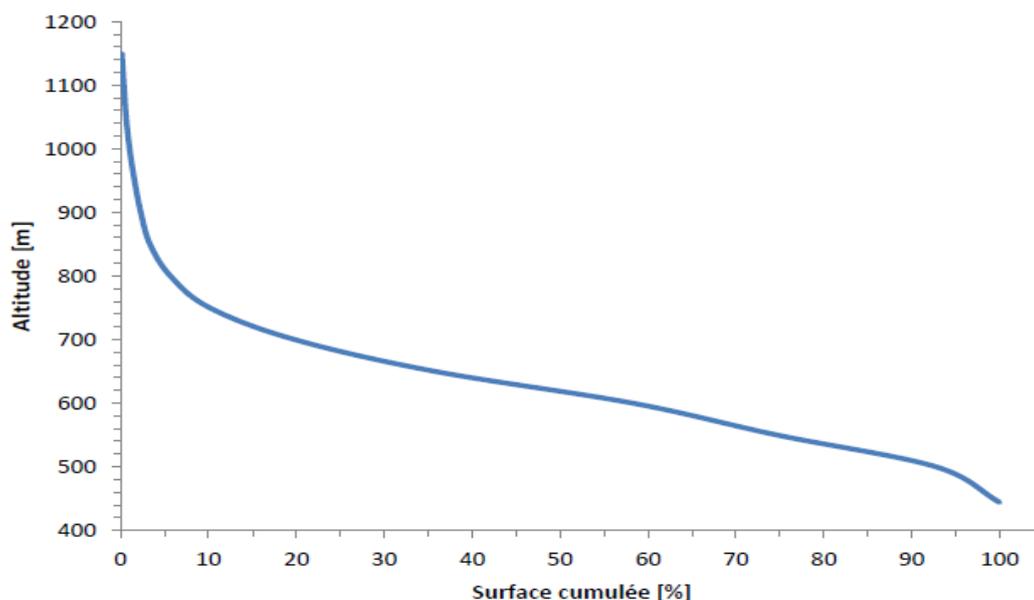


Figure II.8 : Courbe hypsométrique du bassin versant de l'Oued Mekkera

Tableau II.4 : Classement des altitudes selon la superficie du bassin versant d'Oued Mekkera

N classes	Classe d'altitude.	Borne inf.	Altitude moy.	Surfaces partielles		Surfaces cumulées	
				Si [km2]	Si [%]	ΣSi [km ²]	ΣSi [%]
	H(i)-H (i-1)	H (i) [m]	H (i) [m]				
1	1192-1150	1150	1171	1.37	0.125	1.366	0.125
2	1150-1100	1100	1125	2.59	0.236	3.952	0.361
3	1100-1050	1050	1075	2.84	0.259	6.787	0.620
4	1050-1000	1000	1025	4.30	0.393	11.083	1.013
5	1000-950	950	975	6.16	0.563	17.239	1.575
6	950-900	900	925	7.82	0.714	25.055	2.290
7	900-850	850	875	11.47	1.048	36.520	3.338
8	850-800	800	825	25.43	2.324	61.946	5.661
9	800-750	750	775	48.91	4.469	110.852	10.131
10	750-700	700	725	105.71	9.600	216.558	19.791
11	700-650	650	675	174.44	15.941	390.993	35.732

12	650-600	600	625	246.42	22.520	637.409	58.252
13	600-550	550	575	179.34	16.389	816.745	74.641
14	550-500	500	525	197.96	18.091	1014.701	92.732
15	500-444	444	472	79.53	7.268	1094	100

II.2.6 Indice de pentes :

La détermination de la pente topographique permet la comparaison et la classification d'un bassin versant. Ces indices de la pente sont calculés à partir de la connaissance et de la répartition hypsométrique.

➤ **Indice de pente globale :**

Il est défini comme étant le rapport du dénivelé simple et de la longueur du rectangle équivalent.

$$I_g = D/L$$

I_g : Indice de pente globale en m/km

D : dénivelé simple séparant les altitudes ayant 5% et 95% de la surface du bassin

L : longueur du rectangle équivalent en km

Ce qui donne :

➤ **Indice de pente moyenne :**

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L}$$

Elle ne tient compte pas de la forme de la courbe hypsométrique

H_{max} : altitude maximale du bassin (m) ;

H_{min} : altitude minimale du bassin (m) ;

L : longueur du rectangle équivalent en (m) ;

➤ **Dénivelé spécifique :**

Le dénivelé spécifique ne dépend que de l'hypsométrie et de la forme du bassin versant.

Elle est estimée à partir de la formule suivante :

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

D_s : dénivelé spécifique en m

I_g : Indice de pente globale en m/km

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer), la dénivelé spécifique du bassin de Oued Mekkera se trouve dans la classe R5, donc on a un assez fort.

Tableau II.5: Classification de l'ORSTOM pour différents reliefs

Classe	Type de relief	Intervalle de DS
R1	Relief très faible	Ds < 10 m
R2	Relief faible	10 m < Ds < 25 m
R3	Relief assez faible	25 m < Ds < 50 m
R4	Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
R5	Relief assez fort	100 m < Ds < 250 m
R6	Relief fort	250 m < Ds < 500 m
R7	Relief très fort	Ds > 500 m

➤ **Densité de drainage (Dd) :**

C'est la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur là sur la surface drainée. Elle est d'environ 1.04 Km/km², ce qui signifie un réseau hydrographique relativement fort.

$$D_d = \frac{\sum L_n}{A}$$

Ln : la longueur cumulée (km)

A : surface totale du bassin versant (km²)

➤ **Temps de concentration (Tc) :**

Le temps nécessaire à l'eau pour s'écouler depuis l'élément hydrologiquement le plus éloigné (en amont) du bassin versant jusqu'à l'exutoire est appelé temps de concentration du bassin. Pour sa détermination on utilise souvent la formule de GIANDOTTI car elle tient compte des paramètres morphologiques utilisés :

$$T_c = \frac{1.5L_p + 4\sqrt{S}}{0.8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}}$$

Tc : temps de concentration (heure)

Lp : Longueur du cours principal du thalweg (L=53km) ;

S : Surface du bassin versant (km²) ;

H moy : altitude moyenne (m) ;

H min : altitude minimale (m).

- **Fréquence des cours d'eau (FS)** : elle correspond au nombre de cours d'eau par unité de surface.

$$F_s = \frac{N}{A}$$

F_s : Fréquence des cours d'eau

N : nombre de cours d'eau

A : surface du bassin versant (km²)

- **Vitesse de ruissellement** : Elle est donnée par la formule suivante :

$$V_r = \frac{L_p}{T_c}$$

L_p : longueur de talweg principale en Km ;

T_c : temps de concentration en h.

II.2.7 Tableau récapitulatif :

La connaissance des paramètres morphométriques et hydrographique ainsi que leur comparaison sont importantes, Ils interviennent souvent de façon combinée pour commander les modalités de l'écoulement.

Ces paramètres sont résumés dans le tableau 6 suivant :

Tableau II.6 : Récapitulatif des caractéristiques morpho métriques et hydrographiques de sous bassin versant de l'oued Mekkera

Paramètre	Symbole	Valeur	Unité
Surface	S	1094.22	Km ²
Périmètre	P	195.32	Km
Indice de compacité	C	1.67	-
Longueur du rectangle équivalent	Lé	85.61	km
Largueur du rectangle équivalent	B	12.78	km
Altitude minimale	H _{min}	444	M
Altitude maximale	H _{max}	1192	M
Altitude moyenne	H _{moy}	626	M
Longueur du thalweg principal	L _T	37.73	km
Pente du cours d'eau principal	Ic	0.052	%
Indice de pente moyenne	I _p	0.84	%

Indice de pente globale	Ig	4.57	m/km
Longueur du thalweg principal	Loued	1132.67	km
Densité de drainage	Dd	1.04	Km/km ²
Temps de concentration	Tc	17.50	Heure
Fréquence des cours d'eau	FS	0.64	-
Vitesse de ruissellement	Vr	2.16	Km/h

II.3 VEGETATION ET GEOLOGIE :

Dans l'ensemble du bassin versant de la Mekerra, seulement 25% du sous-sol est imperméable. La partie nord est beaucoup plus perméable que la partie sud. Le tableau 7 représente la couverture terrestre du bassin versant de Mekerra [18]. On constate ainsi que la couverture végétale du bassin est développée de manière irrégulière. A l'aval de la ville de Ras El Ma apparaissent des terres recouvertes d'Alfa, qui vers le nord cèdent la place aux broussailles. A l'amont, des céréales, des vignes et des agrumes occupent la zone de Sidi Ali Benyoub. Les forêts couvrent plus de 20% de la superficie du bassin [19].

L'étude de l'influence de la végétation sur la configuration et l'aspect des cours d'eau a été décrite par [20]. Selon les taux de fixation intégrale des berges ou de fixation partielle du lit par la végétation, il en résulte des processus d'érosion latérale ou d'érosion en profondeur. Il y a aussi le facteur d'influence de la vitesse d'écoulement. Selon [21, 22], la couverture végétale peut réduire l'énergie cinétique des précipitations de 50% et la puissance de ruissellement de 75% [23].

Tableau II.7 : Couverture terrestre du bassin de Mekerra [23].

Couverture terrestre	Surface%
Forêt	27.6
Cultures annuelles	35.82
Alfa	10.71
Agglomérations	1.17
Travaux de conservation des sols	0.42
Terre improductive	2.8
Route	5.73

Trois principaux ensembles de sols dominent le bassin versant de Mekerra. Il s'agit de sol brun calcaire, de sol calcaire et de sol alluvial. Les deux premiers types appartiennent à la classe de sol magnésium-calciq. Ces sols sont plus profonds, ayant une structure granitique ou grumeleuse généralement bien développée dans l'horizon de surface et polyédrique dans la profondeur [24]. Sur le plan agricole, leur adsorbant complexe est saturé de calcium et de magnésium, le ph est supérieur à 6,8. Les sols alluviaux appartiennent à la classe peu évoluée. Ces sols sont rencontrés sur les terrasses d'oued et caractérisés par un profil peu différencié et peu structuré. Ceci explique que ces sols sont bons pour l'agriculture.

II.4 CADRE GEOLOGIQUE DU BASSIN DE L'OUED MEKERRA :

Le bassin de l'oued Mekerra est caractérisé par des formations géologique très diverses.

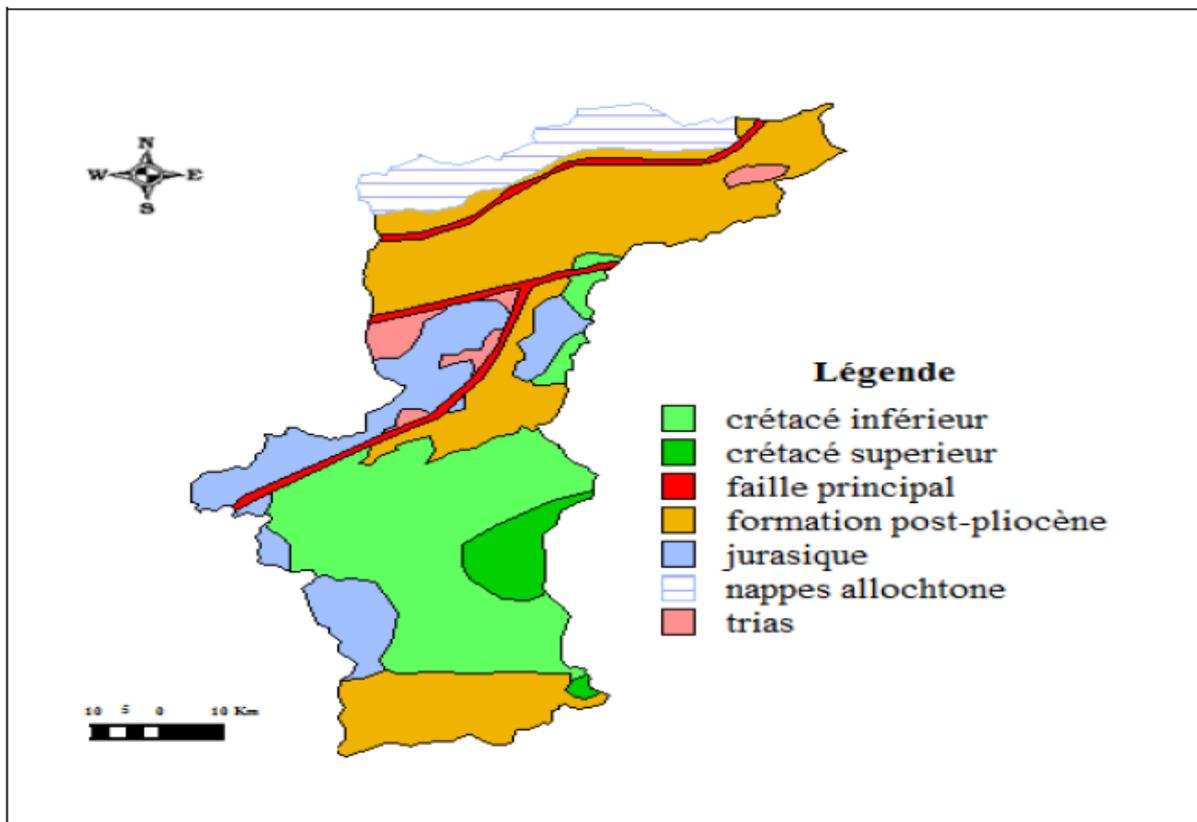


Figure II.9 : Carte géologique du bassin de l'oued Mekerra [17].

II.4.1 Bordure Nord :

Les Monts de Tessala constituent la bordure septentrionale du bassin. C'est une chaîne de reliefs, allongés en direction Sud -Ouest et Nord- Est, très plissés à ossature crétacé et à recouvrement tertiaire très épais, qui aurait été transportée par charriage en deux ensembles principaux [25] qui sont :

- **Crétacé supérieur** : Cet ensemble est constitué par des formations argilo - marneux, à semelle de trias salifère et gypseux recouvrant en contact anormal les terrains du Miocène ante-nappe.
- **Mio-Pliocène** : Le Miocène est constitué par des argiles bleues et des calcaires organogènes. Les formations de cet étage reposent directement en contact anormal sur le Crétacé supérieur. Vers l'Est le domaine des nappes disparaît et laisse la place à une série continentale du Pliocène.

II.4.2 Bordure Sud :

La bordure Sud du bassin est constituée par les Monts de Tlemcen - Saïda, formés en totalité par les terrains secondaires du Jurassique moyen et supérieur et du Crétacé inférieur. Ces reliefs sont compris entre deux môles granitiques de Ghar Roubane à l'Ouest et Tiffrit à l'Est

dont les déformations se transmettent difficilement aux matériaux du Mésozoïque à prédominance calcaréo - gréseux. Il est à noter que les reliefs sont affectés par une tectonique cassante.

II.4.3 Bordure Ouest :

La bordure Ouest constitue la limite topographique entre les deux sous bassins, de l'Isser à l'Ouest et de Mekerra à l'Est. Elle a l'aspect d'une colline encroûtée formée de matériaux Plio-Quaternaire subhorizontaux.

II.4.4 Bordure Est :

La bordure Est correspond à la topographie élevée des terrains Plio - Quaternaire et Miocène. La bordure Sud - Est du bassin est caractérisée par une puissante formation continentale Pliocène où apparaît vers le Sud le Miocène. Au Sud du Village Caïd Belarbi, le crétacé inférieur (Calcaire de l'Aptien) affleure à la faveur d'un horst.

II.5 La série stratigraphique :

La série stratigraphique telle qu'elle se présente en affleurements et dans les sondages dans le bassin du l'oued Mekerra s'établit comme suit :

II.5.1 Le Quaternaire :

Le Quaternaire est représenté par des formations limoneuses, argilo – sableuses et argileuses de faibles épaisseurs (jusqu'à 10 m) développées dans le centre et la partie Nord du bassin. Les bordures des oueds sont occupées par des terrasses constituées par des alluvions et conglomérats.

Ces formations sont couronnées par une croûte calcaire qui se développe principalement en bordure des massifs calcaires.

II.5.2 Le Cénozoïque :

Les terrains du Cénozoïque occupent un vaste étendu dans notre bassin et sont représentés par les formations suivantes :

II.4.5.1 Le Pliocène :

Quatre formations peuvent être attribuées au Pliocène :

- **les dépôts alluvionnaires des plateaux :**

Affleurant principalement dans la partie Sud - Ouest. Ce sont des dépôts caillouteux et limoneux, parfois grés - sableux avec des intercalations de bancs de poudingues à gros éléments.

- **les conglomérats des chenaux aquifères :**

Cette formation, attribuée au Salétien, est essentiellement conglomératique formée de galets hétérométriques (centimétriques à décimétriques) le plus souvent reliés par un ciment argilo - carbonaté. Ces galets sont le résultat de la désagrégation des terrains jurassiques et crétaqués suite à des épisodes torrentiels. On rencontre aussi des lentilles argileuses et sableuses.

▪ **Le complexe argilo – sableux :**

Principalement déposé au Sud et à l'Est du bassin: argiles, argiles sableuses et argiles silteuses.

▪ **Le conglomérat des Hauts plateaux :**

C'est un conglomérat ferrugineux à ciment dolomitique ou calcaire formé d'éléments centimétriques et décimétriques, contenant quelques lentilles gréseuses. Au Sud de la plaine de

S.B.A, et dans la vallée alluviale de Sidi Ali Ben Youb particulièrement au pied des reliefs et au niveau des oueds.

II.5.2.2 Le Miocène :

Le Miocène se divise en deux formations :

▪ **Continental :**

Formant le Djebel Ténira et les Djebels au Sud de Caïd Belarbi. Ce sont des dépôts d'environ (300m) de marnes grises à bancs de grès et à lentilles de galets plus ou moins cimentés.

▪ **Marin :**

Il affleure au Nord Est de la plaine de S.B.A, dans la forêt de Louza. Il est constitué de grès, de marnes quelquefois à gypse.

II.5.2.3 L'Oligocène :

L'Oligocène constitue l'essentiel des nappes de Tessala formant les reliefs Nord du Bassin versant. C'est un ensemble de marnes parfois gypseuses, grises avec quelques bancs de conglomérats à la base et de minces plaquettes de grès dans la partie supérieure.

II.5.2.4 L'Eocène :

Il appartient aux nappes de charriage. Il affleure essentiellement à l'Ouest de Sidi Ali Boussidi et dans le Djebel Tinégmar. Il est constitué par un calcaire gris - bleu, à entroques, dur, massif, bien lité, percé de lapiez.

II.5.3 Le Mésozoïque :

Les formations du Mésozoïque affleurent au Nord du bassin au niveau des monts de Tessala et au Sud dans la zone des hauts plateaux. Le Mésozoïque représenté par des formations carbonatées, gréseuse et argileuses d'âge Crétacé et Jurassique.

II.5.3.1 Le Crétacé moyen et supérieur :

Cette formation allochtone affleure au Nord - Ouest du bassin versant sous forme de marnes salifères comprenant quelques bancs de calcaires.

II.5.3.2 L'Aptien :

Au Sud de Caïd Belarbi à la faveur d'un horst .Il est constitué de calcaires microcristallins ou à rognons gris-bleu appelés calcaires de Zygone. Cette formation a une épaisseur d'environ 150 mètre.

II.5.3.3 Le Barrémien :

Il n'affleure pas sur le bassin mais a été reconnu par le forage de Baudens. C'est une formation puissante constituée essentiellement de grès roux admettant des intercalations d'argiles. Le sommet étant constitué de calcaires graveleux. Cette formation est appelée grès Berthelot.

II.5.3.4 L'Hauterivien :

C'est le membre calcaréo - gréseux du Zégla D. Il affleure au Sud - Est du bassin versant sous forme d'une épaisse formation de (150 m) de calcaires graveleux et gréseux, de grès, à la base d'un ensemble marneuse à bancs calcaires.

II.5.3.5 Le Berriasien – Valanginien :

C'est le membre marno - calcaire du Zégla C, de la formation des calcaires de Remaila. Il affleure au Sud - Est et au Sud - Ouest de la plaine. C'est un ensemble monotone de (120 m) de marnes vertes et jaunes et de calcaires graveleux.

II.5.3.6 Le Portlandien :

C'est le membre marno – calcaire du Zégla B, de la formation des calcaires de Remaila. Il affleure largement entre Sidi Ali Benyoub et Ain Tellout. D'une puissance de (200 m), il est constitué de bas en haut par des grès blancs, des marnes verdâtres, et des calcaires graveleux.

II.5.3.7 Le Kimméridgien Supérieur :

C'est le membre calcaréo - dolomitique du Zégla A, de la formation des calcaires de Remaila. Ce membre est constitué dans son ensemble par une alternance de marnes gris-vert et de calcaires variés, souvent gréseux, en bancs massifs près de la base.

II.5.3.8 Le Trias :

Des affleurements très localisés du Trias ont été observés aux environs de la localité de Zerouala, et à S.B.A (ville) à proximité de la gare ferroviaire de celle-ci. Le Trias est représenté par des argiles et des marnes bariolées multicolores, associées à du gypse, des dolomies bréchiques, des cargneules et ophites.

II.5.4 Tectonique :

A part l'important diapir triasique au Sud - Ouest, près de Ain Tellout, le bassin de l'oued Mekerra est caractérisé par deux styles tectoniques différents :

- **Au Nord :** Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligo - Miocène, avec à son front des lambeaux de calcaire Eocène, de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur, ceux - ci reposant sur le miocène moyen marin anténappe.
- **Au Sud :** Les terrains calcaires peu plastiques, légèrement ondulés, donnent un style tectonique cassant, accidents verticaux et sub-verticaux, sans doute le reflet des déformations du socle, découpant le massif suivant deux directions.
- **Ouest Sud-Ouest - Est Nord Est :** Accidents effondrant, en marches d'escalier, le substratum Jurassico - Crétacé dans la plaine de S.B.A,

- **Est Sud Est - Ouest Nord-Ouest** : Accidents obliques délimitant les panneaux en horst et grabens.

Une activité tectonique récente est attestée :

- Par les déformations du Miocène ;
- Par une faille dont le rejet peut atteindre (10m) au contact pliocène continental Plio-Quaternaire ;
- Par une faille à faible rejet dans les conglomérats quaternaires des terrasses de l'Oued Tissaf.

II.5.5 Contexte hydrogéologique :

Cette région d'étude est caractérisée par la présence de cinq nappes aquifères à savoir figure 10:

- la plaine alluviale Plio - quaternaire de S.B.A;
- les calcaires et dolomies Jurassico- Crétacés des monts de Sidi Ali Benyoub ;
- les calcaires de Zigyne (Aptien) de la forêt domaniale de Belarbi ;
- les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi ;
- les grés pliocènes de la forêt de Tenira.

La nappe du Plio - Quaternaire acquiert un intérêt particulier du fait que les autres horizons perméables sont en communication hydraulique, directe ou indirecte, avec celle - ci [24].

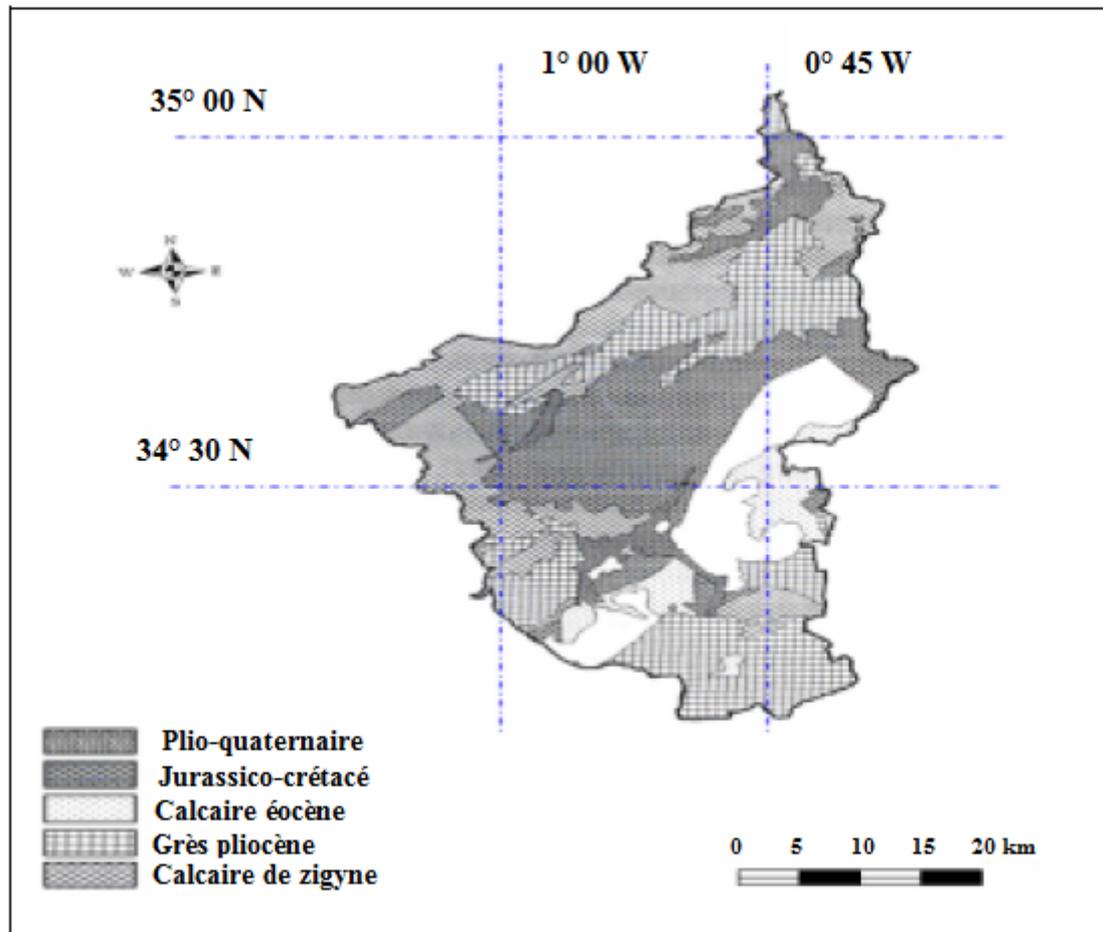


Figure II.10 : Les principales nappes de la région [24]

II.5.5.1 Nappe des calcaires et dolomies Jurassico – Crétacé :

L'aquifère composé de deux ensembles perméables en grand (faciès dolomitique karstifié - dolomie de Tlemcen et faciès calcaires fissurés - calcaires de Remaila) est du point de vue hydrogéologique mal connu.

Les zones de bonne perméabilité sont probablement en contact par l'intermédiaire de nombreuses failles. Grâce à une position haute, favorable à une bonne pluviométrie, cette nappe est bien alimentée.

Les eaux infiltrées semblent ne pas gagner les panneaux effondrés sous la plaine de S.B.A mais des communications hydrauliques latérales peuvent s'établir par l'intermédiaire des cônes de déjection de conglomérats ou des dépôts argilo - gréseux de piémont de faible perméabilité.

Vers la plaine, la capacité d'écoulement des eaux, provenant des calcaires est réglée par la perméabilité des cônes conglomératiques. Les eaux qui ne peuvent s'écouler vers la plaine sont restituées par d'importantes sources pérennes, Ain Skhouna, Ain Mekhareg et Ain Tatfamane.

II.5.5.2 Nappe des calcaires de Zygone :

L'aquifère, formé de calcaires fissurés, a été capté par le forage de Caïd Belarbi (débit de 14l/s).

II.5.5.3 Nappe des calcaires Eocènes :

Les écailles de calcaires éocènes, posées sur les marnes du crétacé supérieur et du miocène marin, contiennent une nappe alimentée par son impluvium. Cette nappe est entièrement drainée par des sources dont les plus importantes sont : Ain El Hadjar, Ain Annefress et Ain Mddah. Une partie des eaux de ces sources (Ain El Hadjar et Ain Ane fress) est captée pour l'AEP, l'autre partie se déverse soit directement dans les alluvions, soit sur le miocène marneux .Cette nappe s'étend au Nord de l'unité (Djebels Touil et Sidi Dahou).

II.5.5.4 Nappe des grès pliocènes :

Cet ensemble argilo- gréseux, de faible perméabilité, contient une nappe discontinue qui alimente la nappe alluviale par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent le rôle de drain grâce à leur remplissage alluvionnaire. Ces grès, exclusivement alimentés par leur impluvium, sont caractérisés par des paramètres hydrauliques de faible valeur.

II.5.5.5 Nappe du Plio- quaternaire :

La nappe Plio- quaternaire d'une superficie de (730 km²) est contenue exclusivement dans les formations d'âge Plio-quaternaire et quaternaire. Ces dernières remplissent la grande vallée de Sidi Bel Abbés et sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions plus ou moins cimentées et les conglomérats des (chenaux aquifères)). L'ensemble de cet écoulement forme une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre S.B.A (ville) dans lesquels la nappe devient semi- captive. L'alimentation de cette nappe se fait suivant trois processus :

1. Alimentation directe par la pluie ;
2. Alimentation par les aquifères adjacents; soit par infiltration latérale directe dans les alluvions et conglomérats des (Chenaux aquifères), des eaux provenant des calcaires et dolomies Jurassico - Crétacés et des grès du pliocène; soit par l'intermédiaire de sources (résurgences des calcaires et dolomies du jurassique supérieur et des calcaires de l'Eocène) dont les eaux s'infiltrent ensuite dans les alluvions et les conglomérats ;
3. Alimentation par les Oueds principalement en période de crue sauf pour l'Oued Mouzen (Tissaf) qui alimente constamment la nappe car la majeure partie des débits de cet Oued se réinfiltré dans la nappe particulièrement au niveau du chenal conglomératique près de Sidi Khaled.

Conclusion :

Les différents paramètres morphométriques et hydrographiques qui agissent sur les variations du régime de l'écoulement, montrent que le bassin versant est caractérisé par une forme allongée qui a un coefficient de compacité égal à 1.67, ce qui traduit un développement de l'érosion linéaire.

Le relief, facteur déterminant de l'aptitude des terrains au ruissellement, à l'infiltration et à l'évaporation, est caractérisé par une altitude comprise entre 400m et 1170m avec une moyenne de 824m. Les indices de pente permettent de caractériser l'évolution géomorphologique de l'ensemble du bassin. La pente moyenne, paramètre important pour la détermination du temps de concentration, est égale à 1.

Le temps de concentration est estimé à 17 heures et 50 min avec une vitesse de ruissellement de 2.16 km/h. la densité de drainage ($Dd= 1.04 \text{ km/km}^2$) caractérise un réseau hydrographique bien développé.

La carte lithologique du bassin versant montre que la formation des calcaires et alluviaux occupent plus de 79 % de la surface de ce bassin. Cette formation se caractérise par une bonne perméabilité.

D'autre par les failles qui traversent notre bassin, favorisé de l'infiltration des eaux vers les nappes aquifères de ce bassin, ceci diminue la capacité de ruissellement les eaux superficielles dans son oued.

II.6. HYDRO-CLIMATOLOGIE :

Toute étude hydrogéologique passe principalement par un traitement détaillé des mesures hydro climatique permettant d'établir le bilan hydrique et par conséquent de comprendre les mécanismes d'alimentation et circulation des eaux de surfaces et souterraines. Ayant déterminé les caractéristiques du complexe physique du bassin versant de l'oued Mekkara, nous essayons d'étudier les facteurs climatiques de cette région. De ce fait, l'analyse des facteurs climatiques s'impose. Elle permet de mettre à jour les facteurs les plus importants qui régissent le climat et enfin d'établir le bilan hydrique. L'établissement d'un bilan hydrique nécessaire pour le fonctionnement d'un système hydraulique de surface, implique la connaissance des paramètres suivants : Les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent ce bilan.

Cette étude climatique débouchera sur un calcul de bilan en exploitant les données météorologiques disponible et utilisant la méthode adaptée à la région.

II.6.1. Caractéristiques hydrologiques :

II.6.1.1 Précipitation :

Les précipitations constituent une composante essentielle du cycle de l'eau. Elles permettent le renouvellement total ou partiel des nappes par le biais des infiltrations et elles conditionnent l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eaux.

Tableau 8 : Précipitation moyennes mensuelles de l'Oued Mekkera (1970-2011).

Mois	Sép	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev
P (mm)	16.77	30.62	43.05	36.33	40.65	38.32
Mois	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou
P (mm)	42.62	23.73	26.54	6.71	2.32	5.30

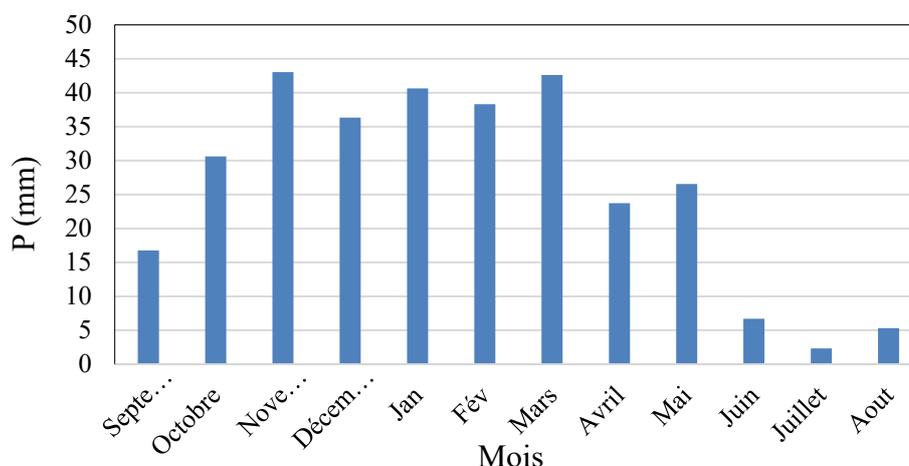


Figure II.11 : Variations des précipitations moyennes mensuelles de Oued Mekkera (1970-2011).

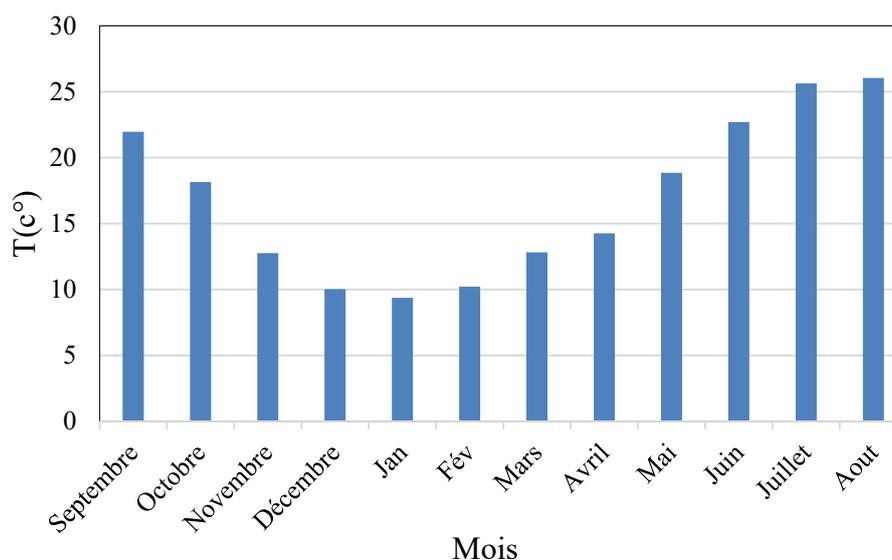
II.6.1.2 Température :

Les températures ont une grande influence sur l'écoulement ainsi que les données relatives à l'évaporation favorisant le déficit d'écoulement.

Tableau 9 : Températures moyennes mensuelles d'Oued Mekkera (1970-2011).

Mois	Sép	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev
T (°C)	21.97	18.15	12.76	10.03	9.38	10.22
Mois	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Août
T (°C)	12.83	14.27	18.85	22.7	25.63	26.05

Selon le tableau 9, on remarque le mois le plus froid est celui de janvier avec une température moyenne de l'ordre de 9.38 °C, et le mois le plus chaud est celui d'Août avec une température moyenne de 26.05 °C.

**Figure II.12 :** Variations des températures moyennes mensuelles d'Oued Mekkera (1970-2011)**II.6.1.3 Climat :**

Joue un rôle capital dans le fonctionnement hydrologique du bassin versant. En plus des paramètres morphogéniques de la connaissance des facteurs hydro climatologiques s'avère indispensable pour mieux comprendre les phénomènes d'écoulement superficiel et par là, le rôle régulateur du bassin versant des divers éléments du bilan hydrologique.

- **L'indice d'aridité annuelle :**

Pour déterminer le type du climat utilisant l'indice d'aridité " I " de Demartone qui donne les caractéristiques du climat régional.

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle en mm (P = 313mm) ;

T : Température moyenne annuelle (C°). (T = 16.90 °C).

I : Indice d'aridité annuelle.

Selon Demartone :

I < 5 : le climat est hyper-aride.

5 < I < 7.5 : le climat est désertique.

7.5 < I < 10 : le climat est steppique.

10 < I < 20 : le climat est semi-aride.

20 < I < 30 : le climat est tempéré.

I > 30 : le climat est humide.

La valeur obtenue pour le paramètre I est de 11.63 ce qui implique que le climat de la région est classé en régime semi-aride avec écoulement temporaire.

- **L'indice d'aridité mensuel :**

L'indice mensuel (i), donné par la formule :

$$i = \frac{12P}{T + 10}$$

Avec :

P : Précipitation moyenne mensuel (mm).

T : Température moyenne mensuel (C°).

i : Indice d'aridité mensuel.

Tableau 10 : Indice mensuel d'aridité

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév
T°C	21.97	18.15	12.76	10.03	9.38	10.22
P (mm)	16.77	30.62	43.05	36.33	40.65	38.32
I	6.29	2.02	22.70	21.76	25.17	22.74
Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout
T°C	12.83	14.27	18.85	22.7	25.63	26.05
P (mm)	42.62	23.73	26.54	6.71	2.32	5.30
I	22.40	11.73	11.04	2.46	0.78	1.76

Le tableau 10 montre une répartition mensuelle du climat.

- Le mois de septembre présente un climat désertique.
- Les mois de Juin, Juillet, Août, et octobre présentent un climat hyper-aride.
- Les mois avril et mai jouissent d'un climat semi-aride.
- Les mois de Novembre, Décembre, Janvier, Février, et Mars présentent un climat tempéré.

II.6.1.4 Diagramme Ombrothermique :

Le Diagramme Ombrothermique est la combinaison des températures et des précipitations mensuelles moyennes

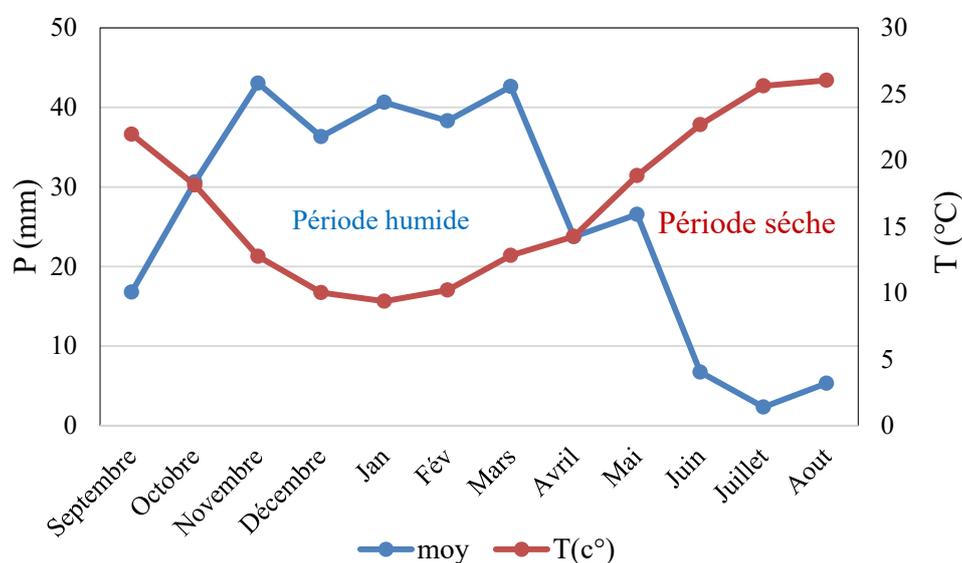


Figure II.13 : Diagramme Ombrothermique (1970-2011).

Le Diagramme Ombrothermique illustré dans la figure 13 fait ressortir deux périodes :

- Une période sèche qui s'étend entre le mois de Avril jusqu'au mois d'Octobre.
- Une période humide qui dure six mois donc du mois de Novembre jusqu'au mois de Avril.

II.6.2 Bilan Hydrique :

Les rapports sont perte ainsi que la connaissance des variations des réserves en eau dans la méthode du bilan hydrique s'applique principalement pour établir la relation entre partie, le bilan d'eau est calculé par l'évaluation de l'évapotranspiration. Disposant des C.W THORNTHWAITE basée sur notion de RFU (réserve facilement utilisable).

II.6.2.1 Evapotranspiration :

Dans les études hydrogéologiques, les deux éléments principaux du bilan, évaporation et transpiration sont réunis en un seul :

L'évapotranspiration ou l'évaporation totale (ET) est l'ensemble des phénomènes d'évaporation (processus physique) et de transpiration (phénomène biologique).

On distingue :

- L'évapotranspiration potentielle (ETP) concerne le milieu saturé.
- L'évapotranspiration réelle (ETR) concerne le milieu non saturé.

- **Evapotranspiration potentielle (ETP) :**

L'évapotranspiration potentielle correspond à l'évapotranspiration d'une surface qui serait suffisamment approvisionnée en eau pour évaporer la quantité d'eau maximale permise par les conditions climatiques.

Pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle nous avons utilisé la formule de THORNTHWAITE qui a établi une correction entre la température moyenne mensuelle et l'évapotranspiration mensuelle.

- **Méthode de THORNTWAITE:**

$$ETP=16 (10 * (T/I))^a * k$$

$$a= (1.61/100) I+0.5$$

$$I=\Sigma i$$

$$i=[T/5]^{1.51}$$

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

T : Température moyenne mensuelle du mois (°C).

I : Indice thermique annuel.

i : Indice thermique mensuel.

K : Coefficient d'ajustement.

Tableau 11: Evapotranspiration potentielle annuelle (1970-2011) par la méthode de Thornthwaite

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juit	Aout	Total
i	9.40	7.04	4.13	2.87	2.59	2.95	3.95	4.89	7.46	9.88	11.87	12.17	79.2
ETP (mm)	100	67.19	32.33	20.88	18.98	21.34	36.28	49.36	88.87	123.43	155.52	152.18	866.36

- **Méthode de TURC :**

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2/L^2}}$$

$$L = 300 + 25 \times T + 0.05 \times T^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

L : Pouvoir évaporant, est une limite vers laquelle tend l'ETR lorsque P devient grand.

Tableau 12 : Résultat de l'ETR par la méthode de Turc.

P (mm)	T (°C)	ETR (mm)	L
312.6	16.90	241.71	943.24

II.6.2.2 Ruissellement (R) :

Le ruissellement dépend de plusieurs facteurs : nature du sol, pente et végétation, cette dernière a un rôle important dans la diminution du ruissellement. Le coefficient de ruissellement peut être calculé par deux formules : - Tixeront Berkallof par Romantchouk (1974).

➤ Si $P > 600$ mm

$$R = \frac{P^3}{3}$$

➤ Si $P < 600$ mm

$$R = \frac{P^3}{3 ETP^2}$$

Avec :

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETP : Evapotranspiration potentielle (mm).

$$R(\%) = \frac{R \times 100}{P}$$

Les résultats obtenus sont reportés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13 : Résultats du ruissellement.

P (mm)	ETP (mm)	R (mm)	R (%)
313	866.36	13.61	4.35

II.6.2.3 Infiltration (I) :

Pour déterminer l'infiltration on utilise l'équation du bilan hydrologique qui s'écrit :

$$P = ETR + R + I$$

Donc:

$$I = P - ETR - R$$

Avec :

I: Infiltration (mm).

R : Ruissellement (mm).

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

ETR : Evapotranspiration réelle (mm).

Si :

$I > 0$ les entrées sont supérieures aux sorties.

$I < 0$ les entrées sont inférieures aux sorties.

$$I(\%) = \frac{I \times 100}{P}$$

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

Tableau 14 : Résultats de l'infiltration

P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	I	I(%)
313	241.71	13.61	57.68	18.43

- **Taux d'infiltration (τ) :**

$$\tau = \frac{I}{PE}$$

Avec :

$$PE = P - ETR$$

τ : Taux d'infiltration (mm)

Tableau 15 : Estimation de taux d'infiltration

P (mm)	ETP (mm)	I (mm)	PE (mm)	τ (mm)
313	866.36	57.68	71.29	0.81

Les résultats de calcul du bilan d'eau par la méthode de Thornthwaite au niveau du bassin de l'Oued Mekkera sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 16 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE d'Oued Mekkera (1970-2011).

Mois	P (mm)	T (°c)	i	K	ETP (mm)	ETR (mm)	RFU (mm)	EXC (mm)	DA (mm)
SEP	16.8	21.97	9.4	1.03	100	16.8	0	0	83.2
OCT	30.6	18.15	7.04	0.97	67.19	30.6	0	0	36.59
NOV	43.1	12.76	4.13	0.87	32.33	32.33	10.77	10.77	0
DEC	36.3	10.03	2.87	0.86	20.88	20.88	36.3	15.42	0
JAN	40.7	9.38	2.59	0.88	18.98	18.98	62.35	21.72	0
FEV	38.3	10.22	2.95	0.85	21.34	21.34	80.21	16.96	0
MAR	42.6	12.83	3.95	1.03	36.28	36.28	81.75	6.32	0
AVR	23.7	14.27	4.89	1.09	49.36	23.7	63.12	0	25.66
MAI	26.5	18.85	7.46	1.2	88.87	26.5	10.38	0	62.37
JUIN	6.7	22.7	9.88	1.2	123.43	6.7	0	0	116.73
JUIL	2.3	25.63	11.87	1.22	155.52	2.3	0	0	153.22

AOU	5.3	26.05	12.17	1.16	152.52	5.3	0	0	147.22
Annuel	312.9	16.90	79.2		866.7	241.71	496.15	71.19	624.99

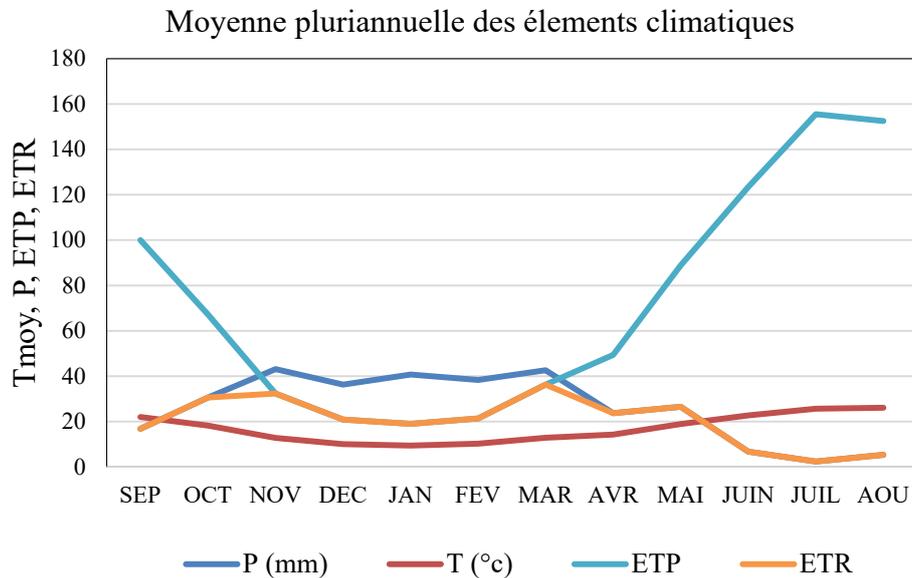


Figure II.14 : Moyenne pluriannuelle des éléments climatiques.

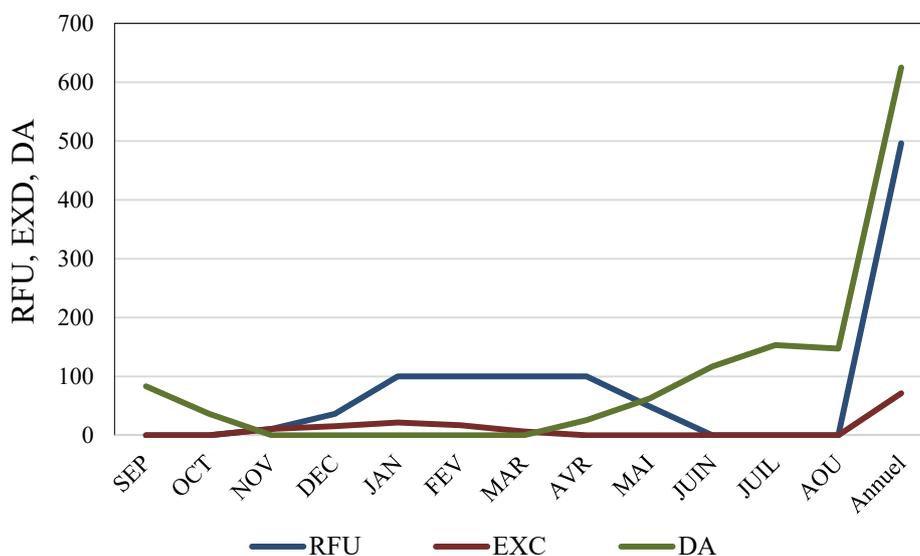


Figure II.15 : Bilan de l'eau de C.W THORNTHWAITE du bassin de l'Oued Mekkera

Le bilan d'eau établi par la méthode de THORNTHWAITE a montré que l'ETP atteint son maximum au mois de Juillet (155.52 mm) et son minimum au mois de Janvier (18.98 mm). La reconstitution de la RFU s'effectue au mois d'Octobre et atteint son maximum (81.75 mm) à mois de Mars, puis elle commencée à être épuisée, vide complètement au mois de juin.

L'excédent égal à 71.19 mm représentant 24.21 % des précipitations annuelles, alors que l'ETR est de l'ordre de (241.71 mm) présentant 67.78 % des précipitations annuelles.

II.7 Analyse de la pluviométrie :

II.7.1 Analyse statistique des données pluviométriques :

Les données pluviométriques ont été mises à notre disposition par l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique (A.N.R.H). Les fichiers acquis donnent les valeurs mesurées des pluies moyennes mensuelles de 08 stations pluviométriques de la région d'étude. Ces données sont disponibles pour 13 stations pluviométriques dans notre bassin versant.

La localisation géographique de toutes les stations pluviométriques est présentée sur une carte à partir de leurs coordonnées Lambert (figure 16).

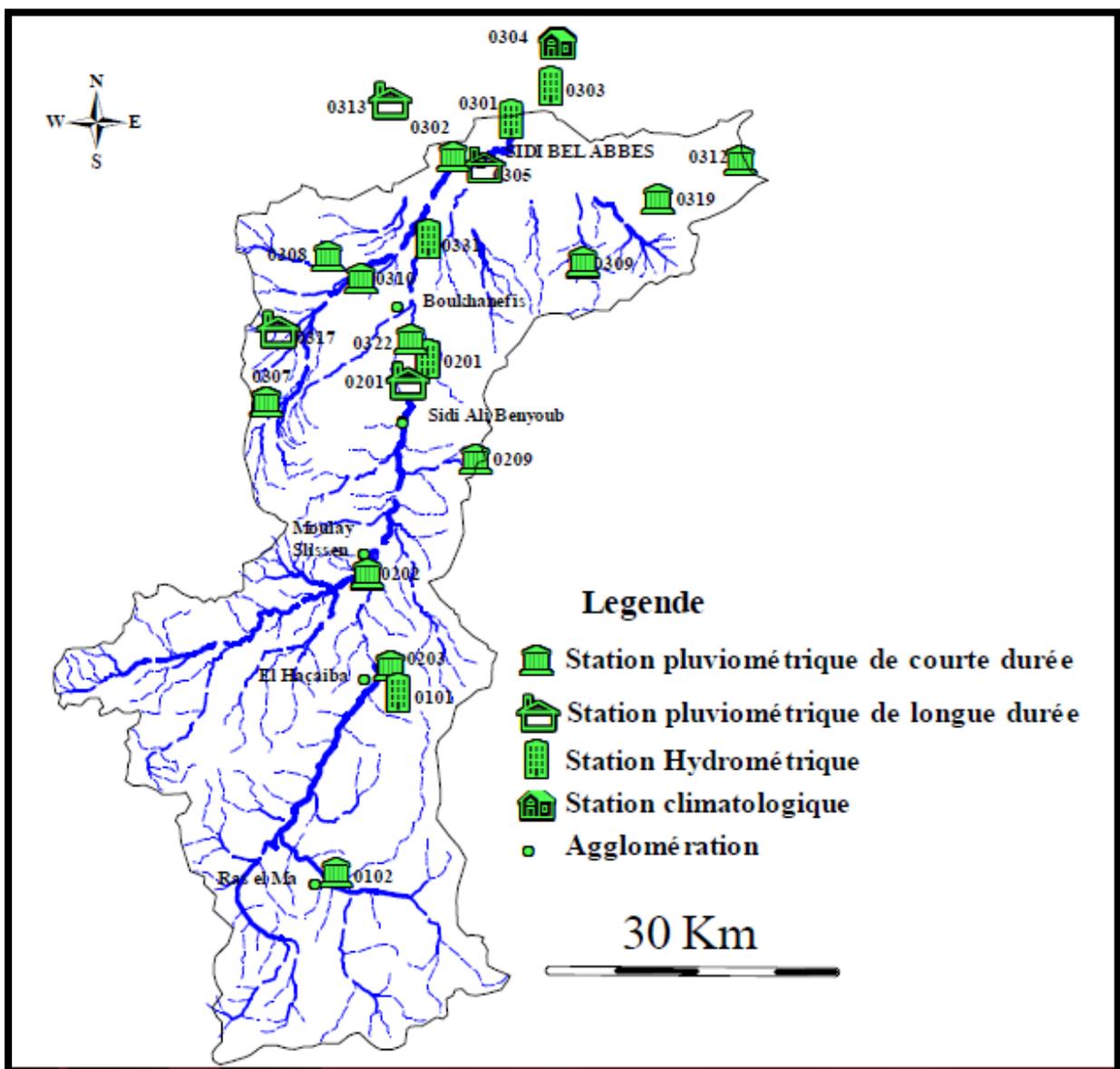


Figure II.16 : Localisation des stations pluviométriques, hydrométrique et climatologique dans le bassin de l'oued Mekerra

II.7.2 Caractéristiques des postes pluviométriques :

Les caractéristiques des stations pluviométriques étudiées sont empilées dans le tableau 17. Ces stations présentent une longue période d'enregistrement de données allant de 1970 à 2011.

Tableau II.17 : Caractéristiques des stations pluviométriques

N ^o	Stations	Code	Cordonnées Lambert			Période d'observation
			X (km)	Y (km)	Z (m)	
01	Ras Elma	110102	177.7	138.8	1097	1970-2011
02	Sidi Ali Ben Youb	110201	186.5	192.2	635	1970-2011
03	El Haçaïba	110203	183.3	161.6	950	1970-2011
04	Sarno Bge	110304	186.50	192.20	643	1970-2011
05	Sidi Bel Abbas	110305	194.2	215.6	485	1970-2011
06	Hassi Daho	110309	204.80	204.10	642	1970-2011
07	Mostefa Ben Brahim	110312	221.70	214.70	590	1970-2011
08	Ain Trid	110314	181.40	203	530	1970-2011

Pour le traitement de ces données pluviométriques, nous avons choisi de travailler à différents pas de temps pour aboutir à une comparaison aux échelles mensuels, saisonnière et annuels.

II.7.3 Variation des précipitations annuelles dans le temps et dans l'espace :

L'étude des précipitations est basée sur l'analyse statistique des données pluviométriques enregistrées sur les principales stations du bassin versant étudié afin d'analyser la variabilité spatiale et temporelle des précipitations.

II.7.3.1 Variation temporelle :

La pluviométrie varie fortement d'une année à une autre. Ceci contribue à l'aridité du climat et complique la gestion des ressources en eau.

II.7.3.1.1 la méthode de la moyenne arithmétique :

Pour avoir une idée générale sur la variation temporelle à l'échelle du bassin versant étudié, nous avons calculé les pluviométries moyennes annuelles en utilisant la méthode de la moyenne arithmétique sur la période 1970-2011 pour les huit (08) stations.

Le tableau 18 récapitule les différents paramètres statistiques déduits.

Tableau II.18 : Paramètres statistique des pluies moyennes annuelles (1970-2011)

Station	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type	Coefficient de variance
Ras Elma	198,2	41,9	417,6	93,52	0,47
Sidi Ali Ben Youb	352,4	102,2	686,2	127,9	0,36
El Haçaiba	305,5	63,9	478,8	101,3	0,33
Sarno Bge	358,2	150,4	565,5	107,3	0,29
Sidi Bel Abbas	328,8	103,5	495,3	92,8	0,28
Hassi Daho	327,9	63,2	565,5	115,3	0,35
Mostefa Ben Brahim	326,4	126,5	543	107,3	0,33
Ain Trid	404,3	215,7	680,5	112,9	0,28

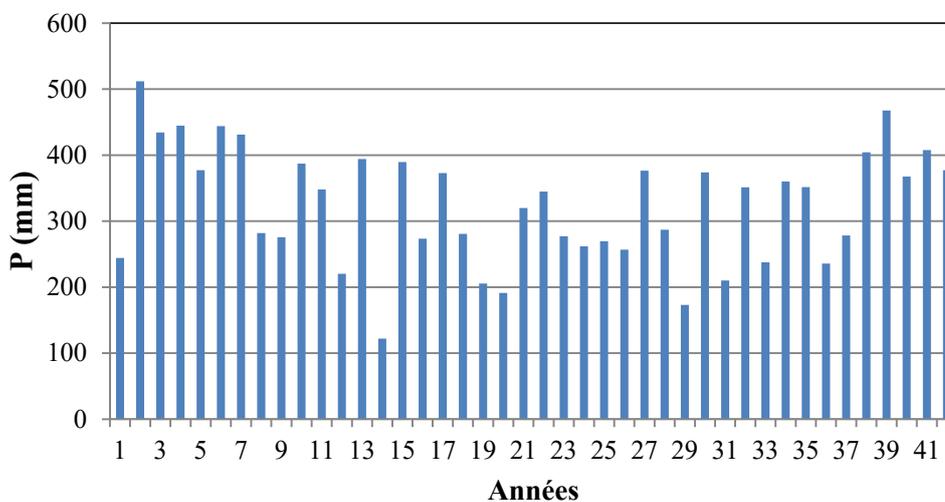


Figure II.17 : Histogramme des précipitations moyennes interannuel dans le bassin versant de l'oued Mekkera (1970-2011)

L'interprétation de l'histogramme fait sortir, que d'une manière générale la précipitation se caractérise par leur irrégularité interannuelle.

La figure montre que les précipitations varient d'une année à l'autre pour la période (1970-2011) d'une moyenne interannuelle de 313 mm.

On observe des années pluvieuses dont la hauteur dépasse largement la moyenne et d'autre de pluviosité très faible, telles : 1970, 1977, 1978, 1981, 1983, 1985, 1987, 1988-1989, 1992, 1993, 1994, 1995, 1997-2006.

Les précipitations montrent donc une irrégularité interannuelle frappante.

Le maximum de pluviométrie a été observé en 1971 avec une valeur de 511.82mm, et alors que le minimum a été enregistré en 1983 avec une valeur 122.05mm.

II.7.3.1.2 Variation spatiale :

Il convient de remarquer que le bassin étudié présente des zones pluviométriques relativement hétérogène, autrement dit la variation spatiale devient plus ou moins importante, entre 198.2 mm et 495.3 mm La station la plus arrosée est celle de Sidi Bel Abbès et la moins pluvieuse est celle de Ras Elma (figure 18). Cette variabilité est caractérisée par le coefficient de variation (0.28 à 0.47), qui est relativement élevé.

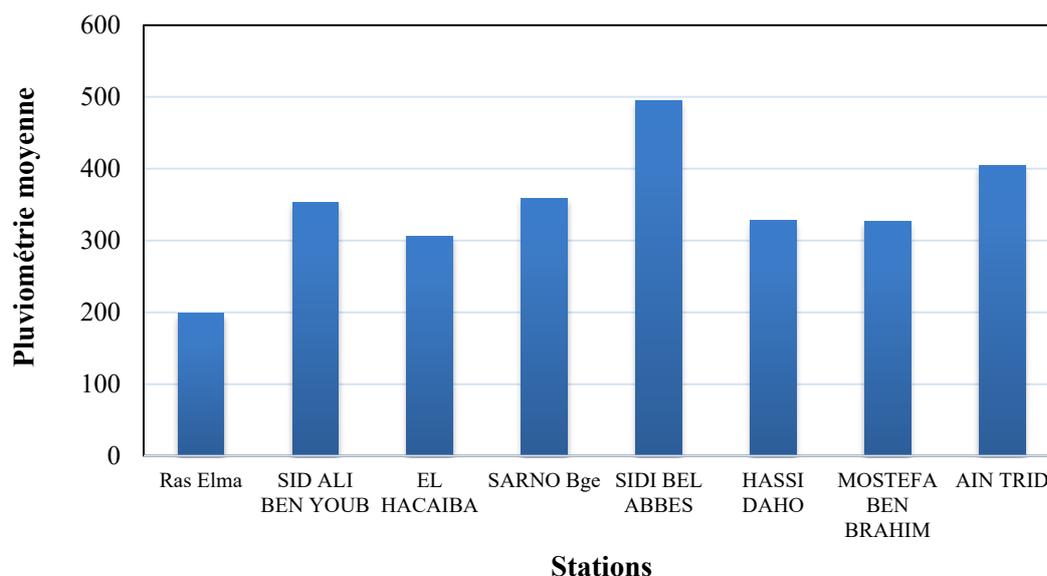


Figure II.18 : Variation annuelle des précipitations moyenne des stations (1970-2011)

II.7.4 Variation des précipitations mensuelle et le régime saisonnier :

II.7.4.1 Variation des précipitations mensuelles :

La répartition mensuelle des précipitations annuelles et ses variations conditionnent, en relation avec les facteurs thermiques, l'écoulement saisonnier et le régime des cours d'eau ainsi que celui des nappes. La distribution des pluies mensuelles de la station de Ras El Ma, Sidi Ali Ben Youb, Al Hacaiba et Sarno berge montre que les précipitations maximales sont atteintes au mois de novembre (51.87mm) alors que les minimales sont observées durant le mois de Juillet (3.91mm et 1.56mm respectivement). Par ailleurs le mois de Juillet est le moins pluvieux avec seulement 1.56mm pour la station de Sarno berg. Le mois de novembre est le plus humide avec un maximum de 51.87mm.

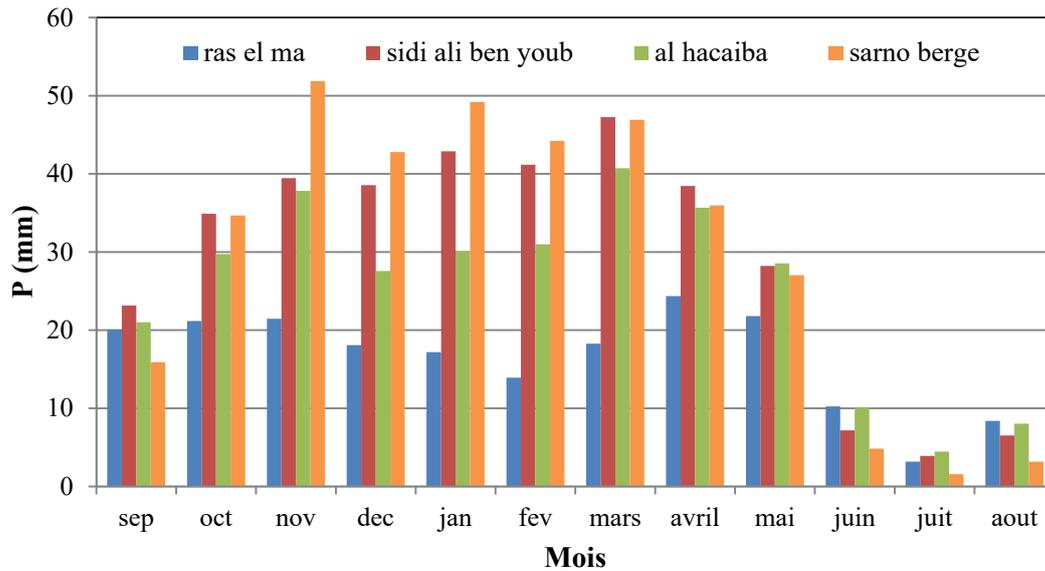


Figure II.19 : Précipitation moyennes mensuelles (1970-2011)

Les stations de Sidi Bel Abbes , Hassi Daho, Mostefa Ben Brahim et Ain Trid sont caractérisées par des précipitations mensuelles pluvieuses correspondant aux mois de Novembre, Janvier , Février et Mars (figure 20) et une saison plus sèche qui correspond aux mois de Juin, Juillet et Août. De ce fait les mois de Juin, Juillet et Août correspondent aux mois les plus secs.

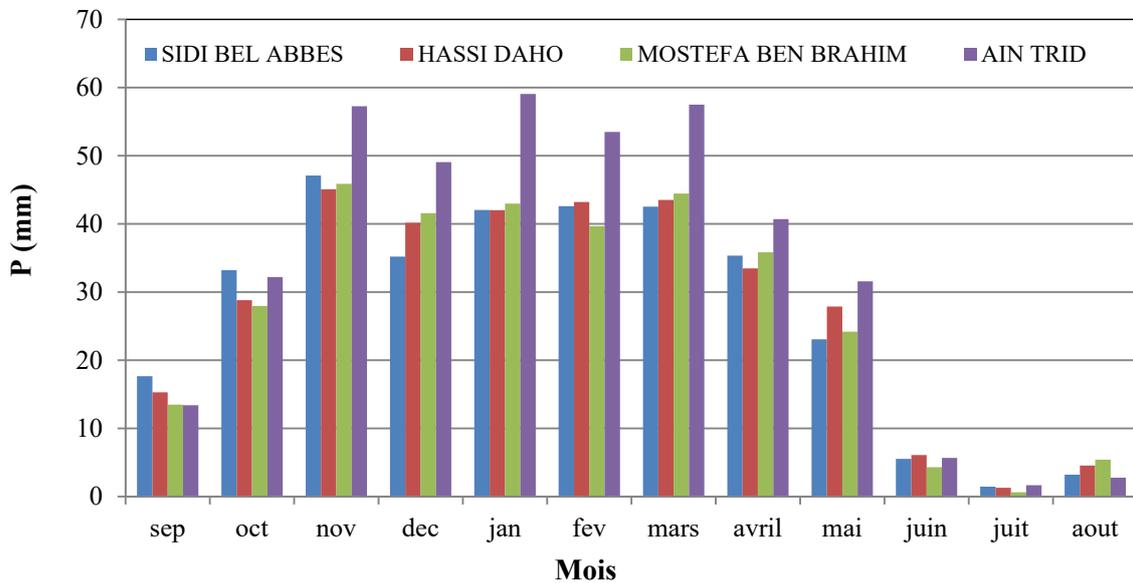


Figure II.20 : Précipitation moyennes mensuelles (1970-2011)

II.7.4.2 Variation des précipitations saisonnières :

Les histogrammes des précipitations saisonnières (figures 21 et 22), montrent que l'hiver est la saison la plus pluvieuse alors que l'été correspond à la saison la plus sèche.

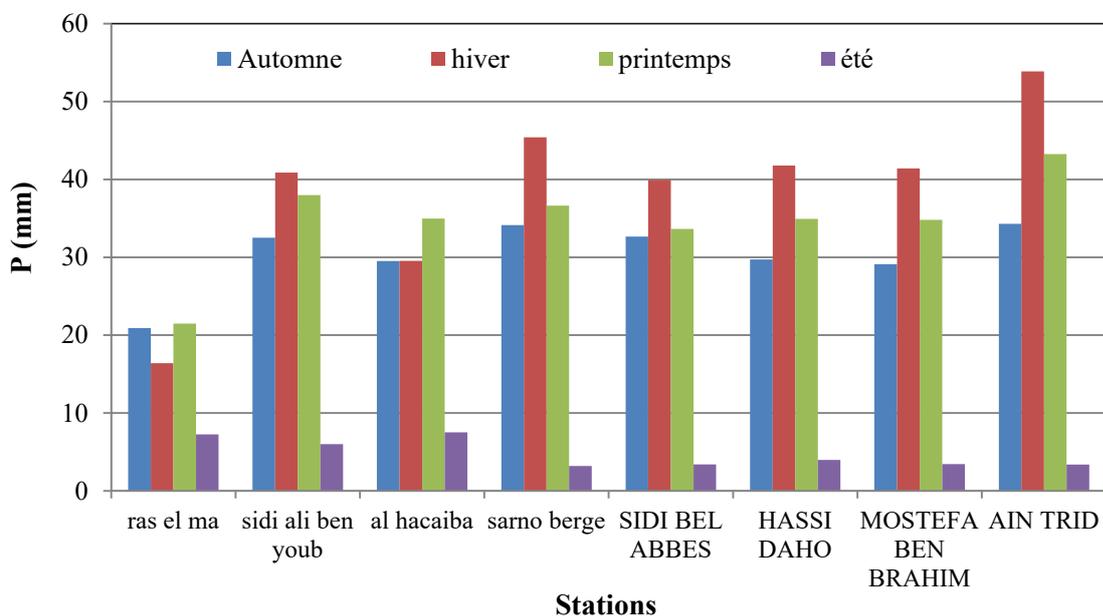


Figure II.21 : Evolution de la pluviométrie saisonnière (1970-2011)

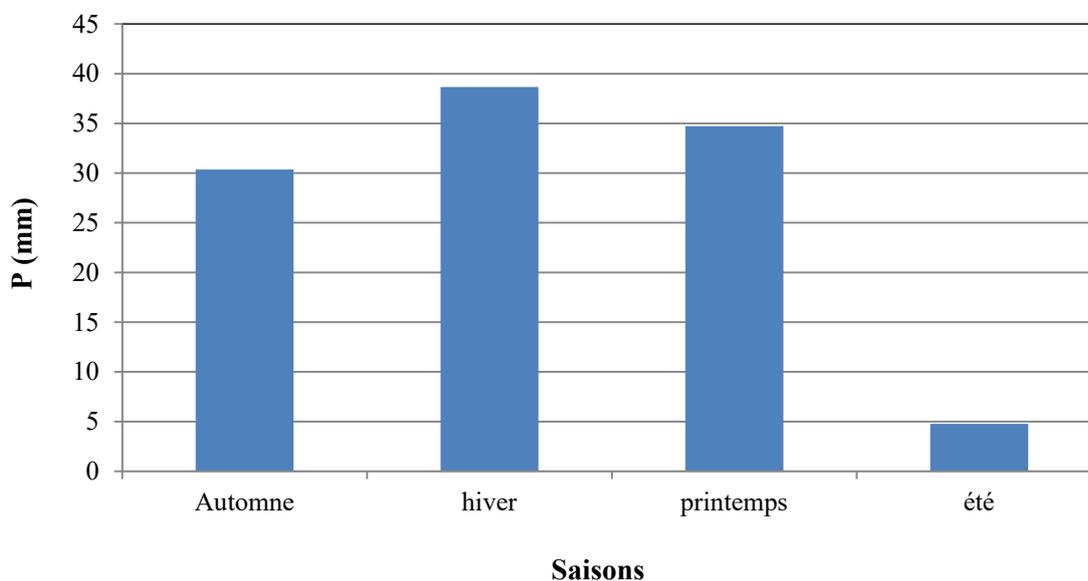


Figure II.22 : Précipitation saisonnière dans le bassin versant de l'oued Mekerra (1970-2011)

Les valeurs des précipitations mesurées durant la saison d'hiver, varient entre 53.87mm pour la station d'Ain Trid et 16.4mm pour la station Ras ElMa (figure 21), avec une moyenne inter-saisonnière de 38.65mm (figure 22).

Les valeurs de la saison la plus sèche, varient entre 3.19 mm pour la station de Sarno berg avec une moyenne inter-saisonnière d'environ 4.77mm.

CHAPITRE III

Outils et Méthode

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va exposer les différentes méthodes utilisées afin de faire ressortir les caractéristiques climatiques et la comparaison diachronique depuis 41 ans dans les stations d'étude.

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 climatiques pour tester la viabilité de cette variation par l'analyse de ces indices.

Ces indices utilisent généralement les mesures de précipitation recueillies aux stations météorologiques pour décrire les conditions de sécheresse. Ils ont pour but de comparer les valeurs actuelles à la tendance historique. Ils sont simples, faciles et rapides à utiliser.

III.1.Origine des données :

Les données pluviométriques proviennent de l'Office Nationale de la Météorologie (ONM) et de l'Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH). Elles sont enregistrées à partir 08 stations météorologique. Les Données sont réparties dans la région d'étude sur une période de 41 années (1970-2011).

Tableau III.19 : Caractéristiques des stations pluviométriques

N ^o	Stations	Code	Cordonnées Lambert			Période d'observation
			X (km)	Y (km)	Z (m)	
01	Ras Elma	110102	177.7	138.8	1097	1970-2011
02	Sidi Ali Ben Youb	110201	186.5	192.2	635	1970-2011
03	El Haçaïba	110203	183.3	161.6	950	1970-2011
04	Sarno Bge	110304	186.50	192.20	643	1970-2011
05	Sidi Bel Abbes	110305	194.2	215.6	485	1970-2011
06	Hassi Daho	110309	204.80	204.10	642	1970-2011
07	Mostefa Ben Brahim	110312	221.70	214.70	590	1970-2011
08	Ain Trid	110314	181.40	203	552	1970-2011

III.2. Etude de la sécheresse via les indices climatiques :**III.2.1. Indice standardisé de précipitations SPI :**

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

Il est exprimé mathématiquement comme suit :

$$\text{SPI} = (\text{Pi} - \text{Pm})/\text{sigma}$$

Où :

SPI = Indice standardisé de précipitation ;

pi= Moyenne inter-annuelle (mm) ;

pm= Moyenne de la série (mm) ;

sigma = Ecart type de la série (mm).

L'intensité des événements est évaluée selon la valeur de l'indice obtenu. L'indice SPI indique qu'une sécheresse débute quand sa valeur est inférieure ou égale à $-1,0$ et qu'une sécheresse se termine quand sa valeur devient positive

Tableau III.20 : Catégories de sécheresse et d'humidité définies par les valeurs du SPI

Valeurs du SPI	Degré d'humidité ou de sécheresse.
$\geq + 2,0$	Humidité extrême
+ 1,5 à + 1,99	Humidité forte
+ 1,0 à + 1,49	Humidité modérée
+ 0,1 à + 0,99	Humidité légère
0	Normalité absolue
- 0,1 à - 0,99	Sécheresse légère
- 1,0 à - 1,49	Sécheresse modérée
-1,5 à - 1,99	Sécheresse forte
$\leq -2,0$	Sécheresse extrême

Il est possible de résumer les avantages et les inconvénients que présente l'indice SPI comme suit :

➤ **Avantages de méthode SPI :**

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

➤ **Inconvénient de méthode SPI :**

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

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

III.2.2. L'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 qualifiée d'humide si cet indice est positif, de sèche lorsqu'il est négatif. Il s'exprime par la formule suivante :

$$\text{IDP (\%)} = ((P_i - P_m) / P_m) \times 100$$

Où :

IDP : Indice de déficit pluviométrique (en pourcentage) ;

P_i : précipitation annuelle (en mm) ;

P_m : précipitation moyenne (en mm).

III.2.3. L'Indice de pluviosité (Ip) :

L'Indice de pluviosité (Ip) est le rapport de la hauteur de précipitation d'une année à la hauteur moyenne annuelle de précipitation de la série. Il est exprimé par la formule suivante :

$$I_p = P_i / P_m$$

Une année est dite humide si ce rapport est supérieur à 1 et sèche s'il est inférieur à 1.

III.2.4 L'indice de sécheresse (IS) :

L'indice de sécheresse (IS) permet d'estimer le déficit pluviométrique annuel. Cet écart à la moyenne est la différence entre la hauteur des précipitations d'une année P_i et la hauteur moyenne annuelle de précipitations P de la série. La formule est :

$$IS = P_i - P$$

L'indice est positif pour les années humides et négatives pour les années sèches.

Conclusion :

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

CHAPITRE IV

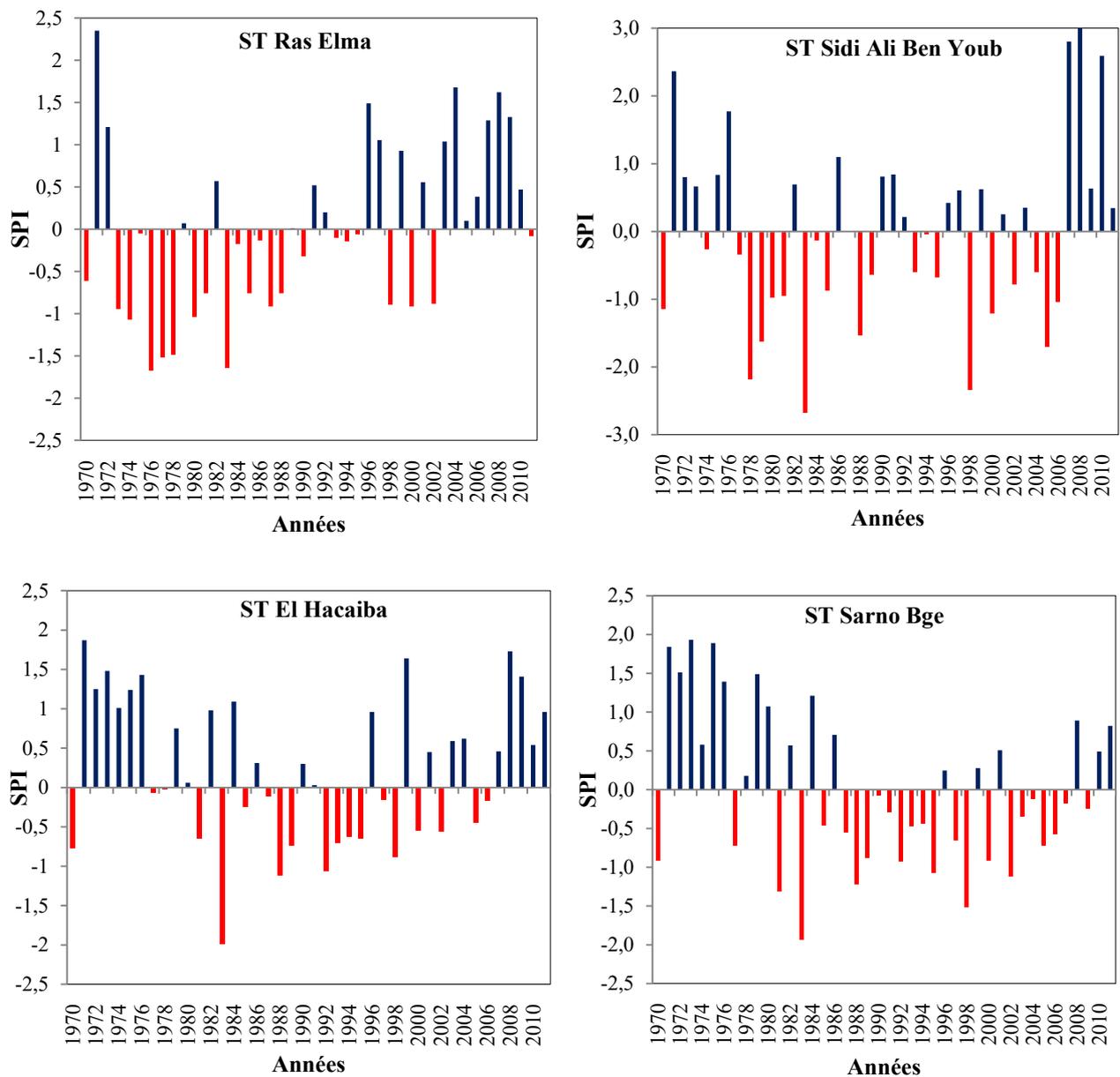
Résultats et Discussions

INTRODUCTION :

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

IV.1.Indice standardisé de précipitation SPI :

Après avoir calculé les SPI pour toutes les stations pluviométriques, la classification des valeurs de SPI est illustrée dans la figure 23.



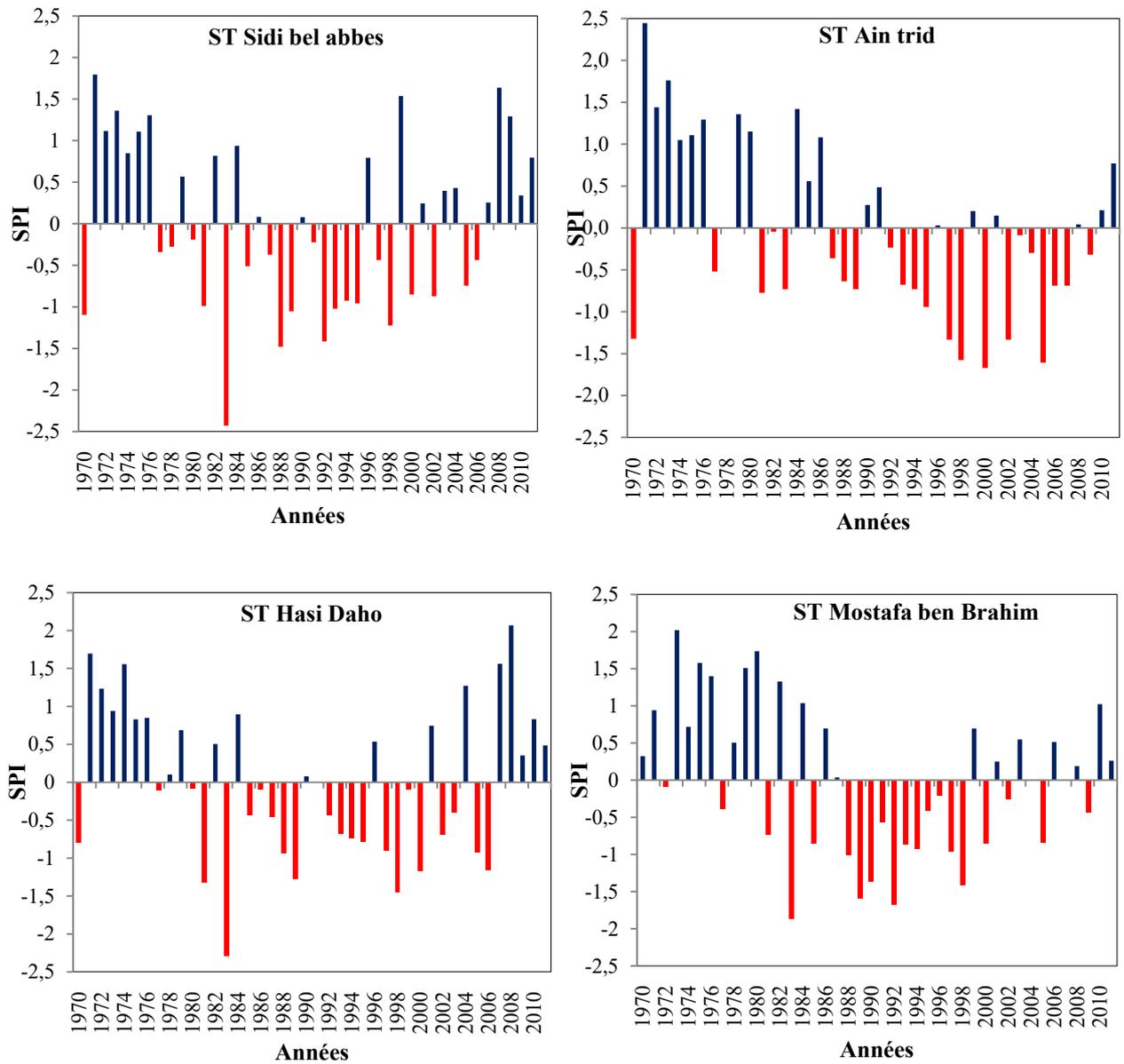


Figure IV.23 : Indice de Précipitations Standardisé (SPI) pour les stations étudiées durant la période 1970-2011.

Les résultats de calcul du SPI du bassin versant de l'Oued Mekkera sont illustrés aux tableaux 20 et 21.

Tableau IV.21 : Valeurs annuelles de l'Indice SPI dans le bassin versant de l'Oued Mekkera (1970/2011)

Année	Pluie	SPI	Degré de la sécheresse	Année	Pluie	SPI	Degré de la sécheresse
1970	244.53	-1,02	Sécheresse modérée	1991	344.70	-0,12	Sécheresse légère
1971	511.80	1,69	Humidité forte	1992	277.19	-0,89	Sécheresse légère
1972	434.33	0,83	Humidité légère	1993	261.81	-0,86	Sécheresse légère
1973	444.71	0,93	Humidité légère	1994	269.53	-0,79	Sécheresse légère
1974	377.24	0,33	Humidité légère	1995	256.71	-0,92	Sécheresse légère
1975	444.03	0,84	Humidité légère	1996	376.38	0,31	Sécheresse légère
1976	431.03	0,75	Humidité légère	1997	286.90	-0,57	Sécheresse légère
1977	281.81	-0,72	Sécheresse légère	1998	173.06	-1,63	Sécheresse forte
1978	275.58	-0,62	Sécheresse légère	1999	373.88	0,50	Humidité légère
1979	387.61	0,37	Humidité légère	2000	210.18	-1,24	Sécheresse modérée
1980	347.94	-0,01	Sécheresse légère	2001	351.41	0,17	Humidité légère
1981	220.23	-1,16	Sécheresse modérée	2002	237.70	-1,04	Sécheresse modérée
1982	394.01	0,45	Humidité légère	2003	360.06	0,04	Humidité légère
1983	122.05	-2,17	Sécheresse extrême	2004	351.55	0,15	Humidité légère
1984	389.44	0,56	Humidité légère	2005	235.73	-1,08	Sécheresse modérée
1985	273.56	-0,67	Sécheresse légère	2006	278.25	-0,62	Sécheresse légère
1986	372.88	0,24	Humidité légère	2007	404.18	0,46	Humidité légère
1987	280.79	-0,56	Sécheresse légère	2008	467.64	1,24	Humidité modérée
1988	205.61	-1,31	Sécheresse modérée	2009	367.61	0,28	Humidité légère
1989	231.44	-1,09	Sécheresse modérée	2010	407.78	0,59	Humidité légère
1990	319.89	-0,25	Sécheresse légère	2011	377.29	0,32	Humidité légère

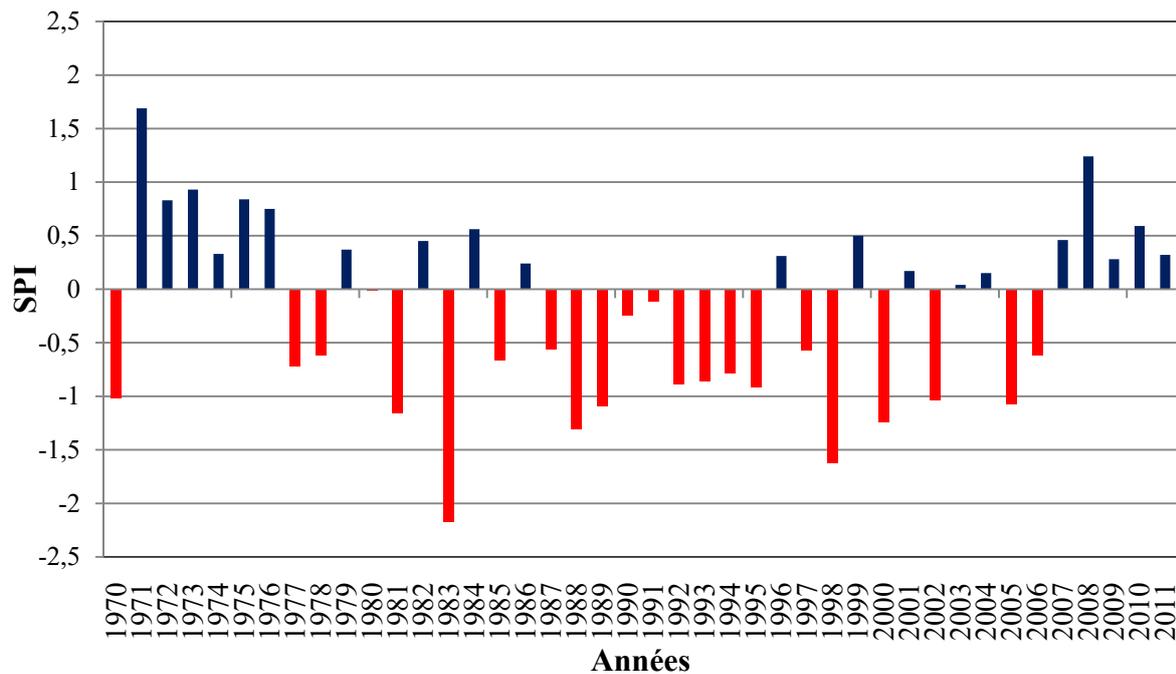


Figure IV.24: Indice de Précipitations Standardisé (SPI) dans le bassin versant de l'Oued Mekkera durant la période 1970-2011.

L'illustration graphique de l'indice de précipitations standardisé, à partir de la série 1970-2011, a permis de mettre en évidence deux périodes bien distinctes ; la première étant sèche tandis que la seconde est plutôt humide.

Dans notre cas, le SPI indique une situation variant entre l'humidité et la sécheresse où 45% des années présentent une humidité avec un $SPI > 0.1$, tandis que le reste s'inscrit dans un contexte sec avec un $SPI > 0,09$ (50%).

La série pluviométrique 1970-2011 est caractérisée par quatorze années de sécheresse légère et dix-sept ans d'humidité légère. L'année 1983 a connu une sécheresse extrême ($P_{mm} = 122,05$ mm) et l'année 1971 s'est manifestée par une humidité forte avec une pluviométrie de 511,80 mm. La série a aussi connu trois années chacune de sécheresse et d'humidité sévères. Il est à noter que la période 1970-2011 n'a pas connue une humidité extrême (Tableau 21).

Tableau IV.22: Fréquences (en %) des classes de l'Indice SPI dans le bassin de l'Oued Mekkera (1970/2011).

Descripteurs	%
Humidité extrême	0
Humidité forte	2.38
Humidité modéré	2.38
Humidité légère	40.47
Normalité absolue	0
Sécheresse légère	33.33

Sécheresse modéré	16.66
Sécheresse forte	2.38
Sécheresse extrême	2.38

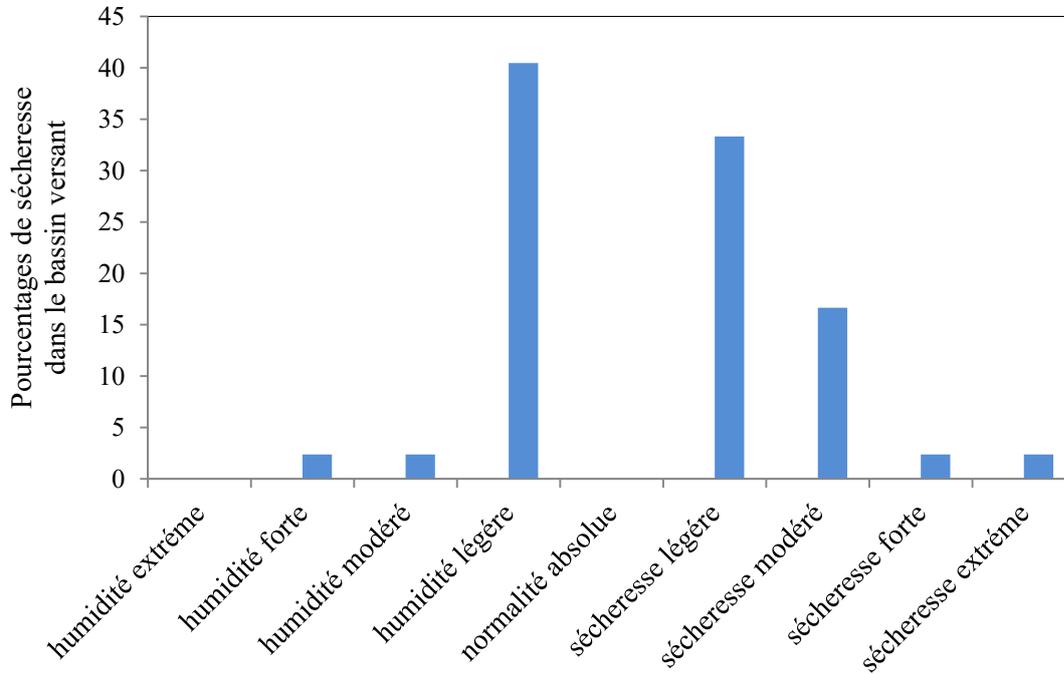
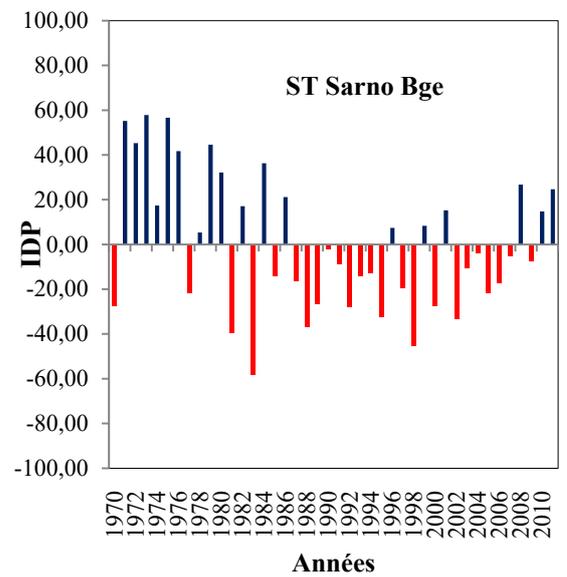
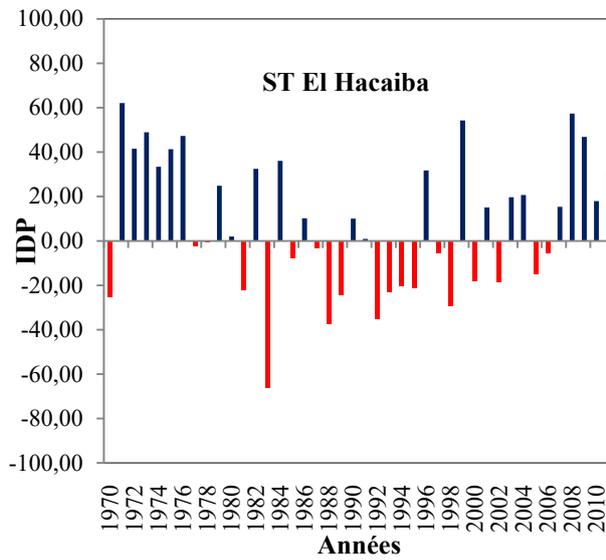
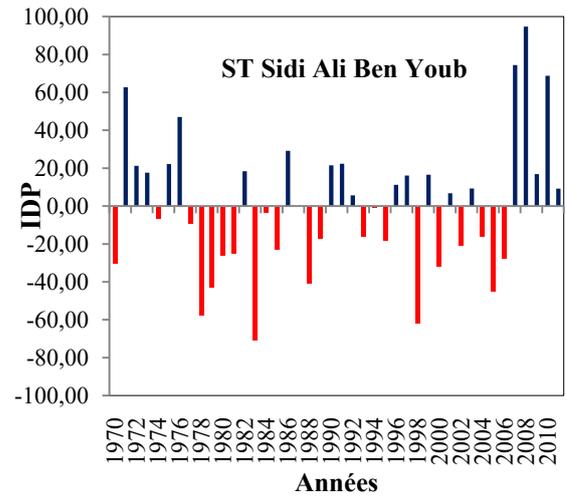
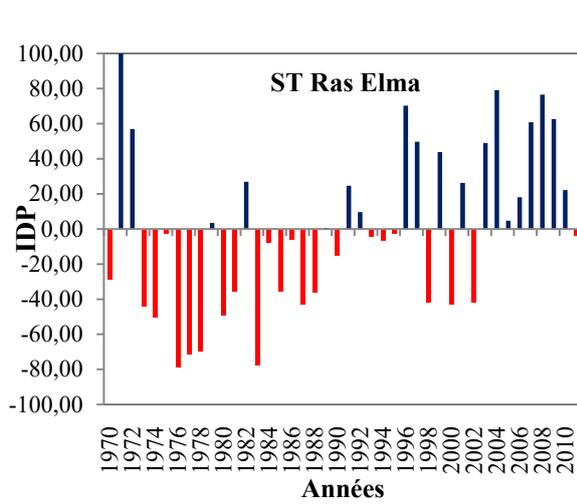


Figure IV.25 : Pourcentages des fréquences de l’indice SPI annuel dans le bassin versant de l’Oued Mekker durant la période 1970-2011

IV.2.L’indice de déficit pluviométrique (IDP) :

L’indice de déficit pluviométrique 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 -80,73% (Station Hasi Daho). Le déficit pluviométrique est plus important, en nombre d’années successives, de 1987 à 2006 (figure 26). La première phase de déficit pluviométrique s’est étalée sur neuf ans avec un taux maximal de -62,47%. La seconde phase est marquée par dix années de déficit pluviométrique et un taux maximal de – 46,79%.



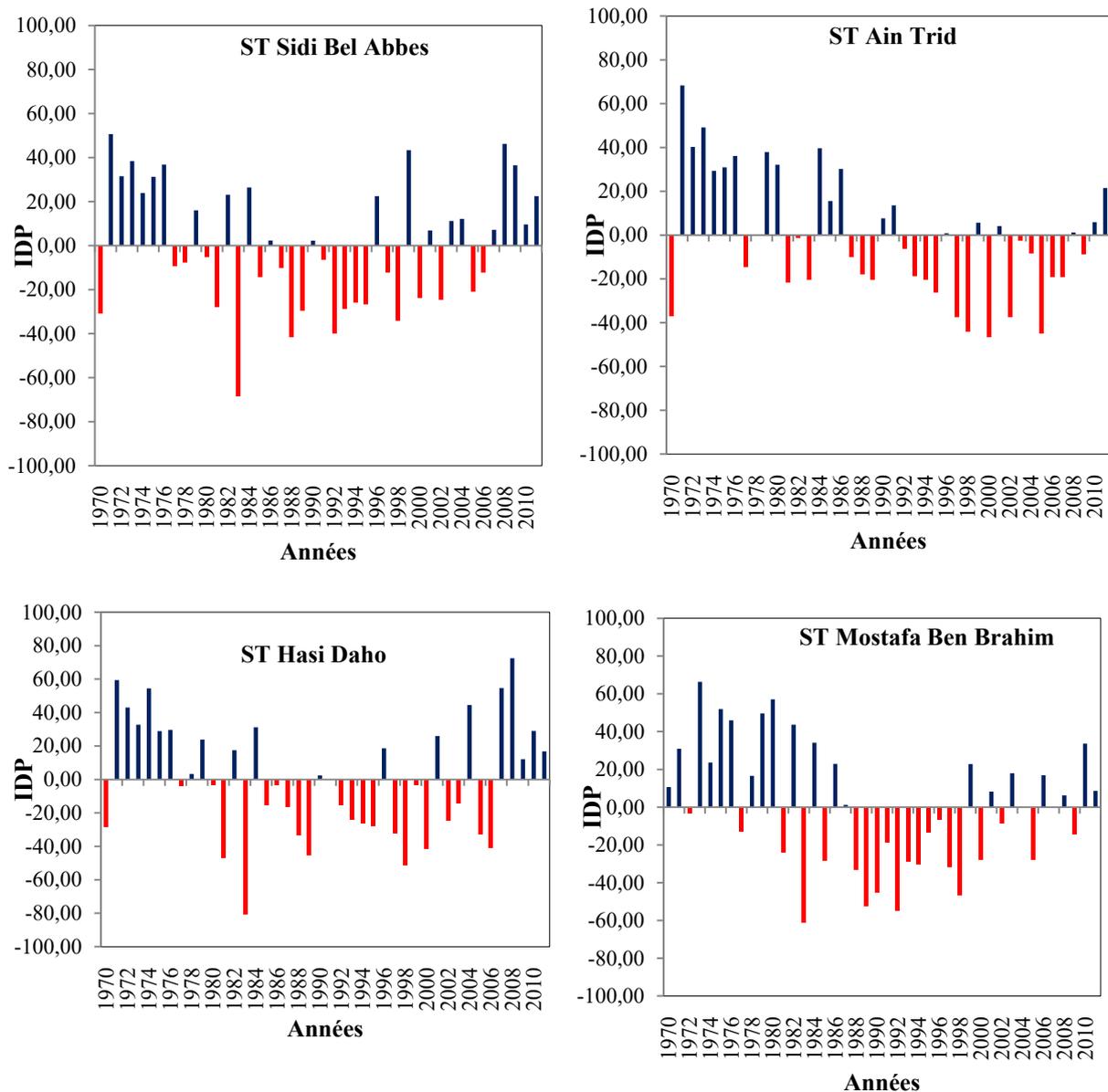


Figure IV.26 : Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) pour les stations étudiées durant la période 1970-2011

L'analyse des séries pluviométriques montrent nettement la variabilité interannuelle de la pluviométrie et sa tendance à la baisse, en plus d'une dispersion croissante dans le temps qui a pour origine la grande irrégularité des épisodes excédentaires et déficitaires (figure 27).

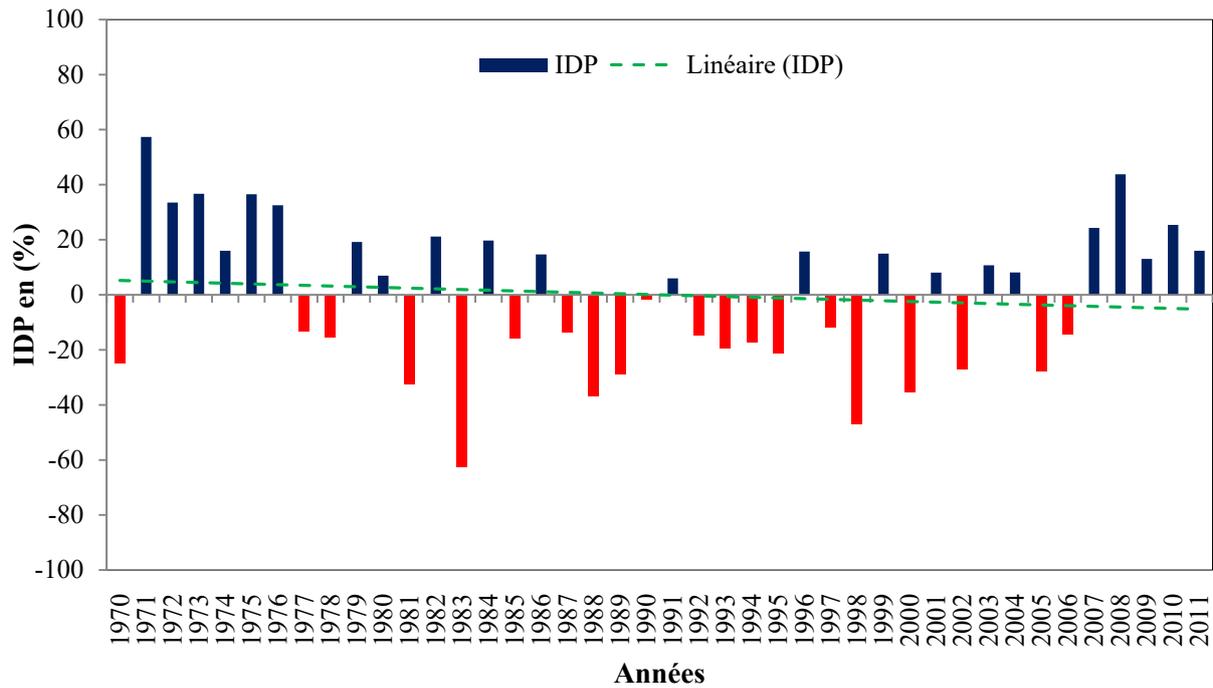


Figure IV.27: Indice de Déficit Pluviométrique (IDP %) dans le bassin versant de l'Oued Mekkera durant la période 1970-2011

La première phase de déficit pluviométrique s'est étalée sur (08) huit ans avec un taux maximal de -36,78%. La seconde phase est marquée par six années de déficit pluviométrique et un taux maximal de -46,79%. L'excès pluviométrique, pour cette série 1984-2002 est observé en 1971 avec respectivement 57,36%.

IV.3.L'indice de pluviosité (IP) :

Le graphique de l'évolution de l'indice de pluviosité a permis de constater que les épisodes de sécheresse de 1977 à 1978 et de 1987 à 1998 sont d'une intensité allant de légère à modérée. La succession des années humides ont fait suite à celle des années sèches depuis 1999 jusqu'à 2011.

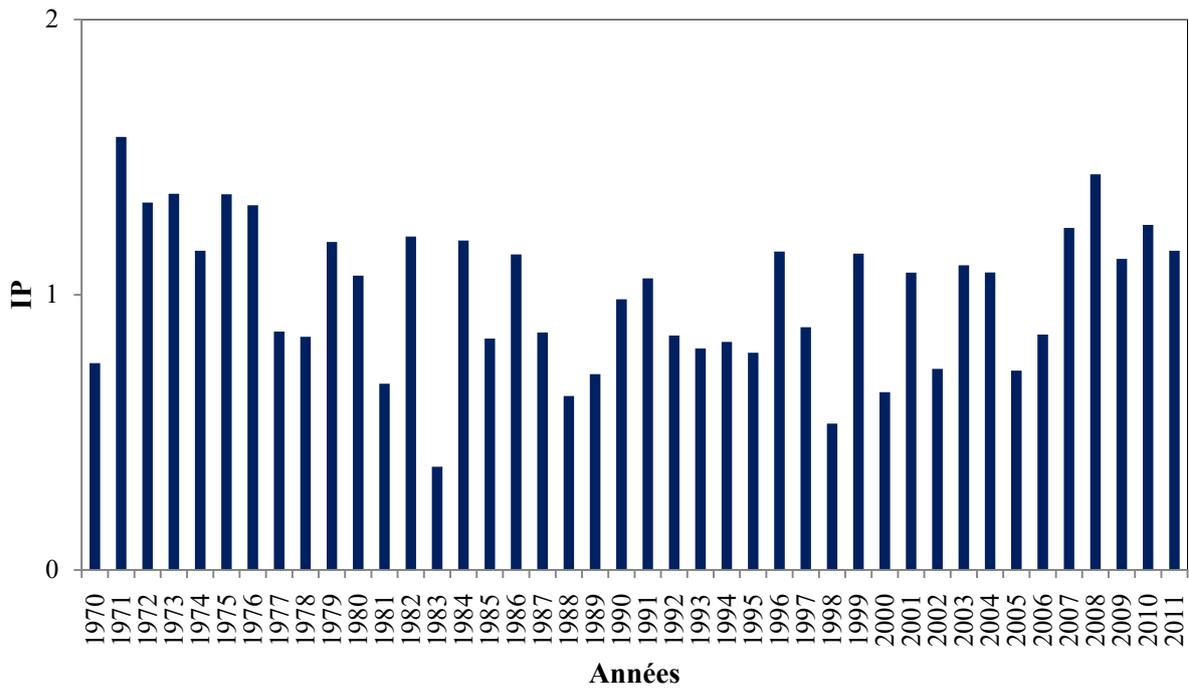


Figure IV.28 : Indice de Pluviosité (IP) dans le bassin versant de l’Oued Mekkera durant la période 1970-2011

IV.4.L’indice de sécheresse (IS) :

La détermination du niveau de sévérité des sécheresses vécues est effectuée par le calcul de l’indice de l’écart à la moyenne. L’analyse de la figure 29 a rendu encore possible la confirmation d’une sécheresse légère à modérée observée dans la série pluviométrique 1970-2011.

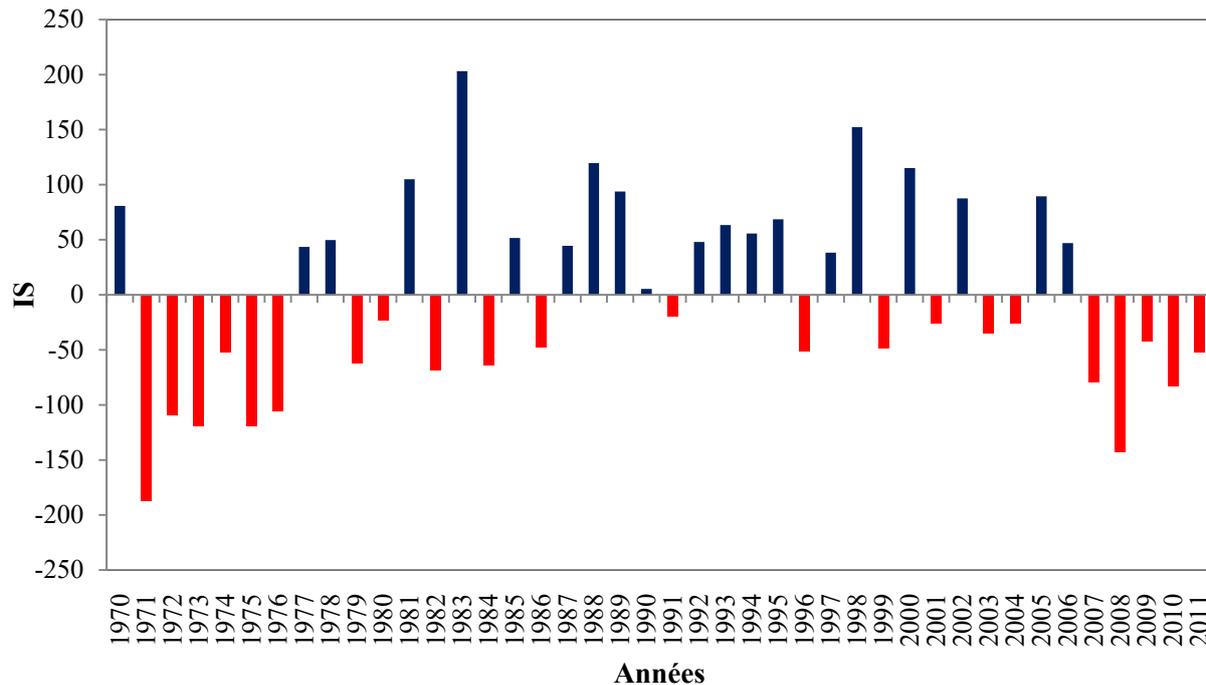


Figure IV.29 : Indice de Sécheresse (IS) dans le bassin versant de l'Oued Mekkera durant la période 1970-2011

Les épisodes de sécheresse sont de plus en plus longues où elles s'étalent sur neuf à dix années consécutives. La répétition des années sèches s'est accélérée et la longévité de la période sèche également.

Les conditions climatiques de l'Algérie du Nord se caractérisent par des pluies concentrées sur la saison fraîche à jours courts avec de longues sécheresses estivales (Seltzer, 1946 ; Emberger, 1955). Les précipitations exercent une action prépondérante pour la définition de la sécheresse globale du climat (Le Houerou et al. 1977).

En écosystème steppique, défini comme la portion du territoire national délimité au Nord par l'isohyète 400 mm et au Sud par l'isohyète 100 mm, les fluctuations des précipitations sont sévères. Certaines années sont très déficitaires en pluviométries tandis que d'autres sont humides.

L'analyse des précipitations, par des indices, a montré, qu'après les déficits pluviométriques de la période 1971-1986, une phase beaucoup plus humide est en train de se manifester. Après l'année 2007, on remarque une alternance de valeurs négatives et un retour aux années déficitaires a lieu après cette séquence déficitaire jusqu'en 2011.

Les résultats obtenus pour notre région ont mis en évidence en plus des deux périodes caractéristiques sèches (1970-2005) et humides (2006-2011), des courtes périodes pluviométriques excédentaires ou déficitaires sur la série pluviométrique 1970-2011.

Conclusion Générale

CONCLUSION GENERALE

Cette étude a été effectuée dans le but de visualiser les différents changements du climat qui jouent un rôle sur les variations climatiques et son impact sur les ressources en eau.

L'étude morphométrique, nous a permis de caractériser le bassin de l'Oued Mekkera avec une forme relativement allongée favorisant une érosion linéaire et régressive avec un chevelu assez dense, son réseau hydrographique est bien organisé.

L'étude hydro-climatologique : les données climatiques des huit (8) stations météorologiques nous ont permis de caractériser notre bassin par un climat semi-aride méditerranéen.

Il ressort de cette étude que le bassin est caractérisé par une saison pluvieuse et un été chaud et sec avec une moyenne de 312.9 mm.

La moyenne des températures est de 16.9 °C, le régime thermique est caractérisé par des amplitudes annuelles assez fortes qui permettent d'accentuer le phénomène de l'évapotranspiration.

La présente étude montre qu'aux cours des dernières années la région a connu une variabilité climatique avec une succession de périodes sèches et de périodes humides

La variabilité temporelle se reflète sur la disponibilité des ressources en eau.

D'après les résultats et analyses qui sont présentés, en s'appuyant sur différentes stations du bassin versant, nous pouvons retenir que le bassin versant est fortement vulnérable à la sécheresse, l'occurrence d'épisodes secs plus ou moins longs est une caractéristique dominante du régime des ressources en eau du bassin. La sécheresse est donc un phénomène récurrent mais difficile à le mettre en évidence dans le temps.

Ce modeste travail ne peut être qualifié de parfait dans le domaine d'études des précipitations. Nous espérons le compléter par d'autres études plus poussées, en se basant sur ces résultats et en utilisant d'autres méthodes plus approfondies pour une meilleure représentativité de la région, et sur des périodes d'observations très importantes.

Références bibliographiques

- [1] Pruneau et al, 2004. Guide pédagogique d'éducation au changement climatique. Université de Moncton, groupe de recherche littoral et vie.
- [2] ADEM, 2015. Agence De l'Environnement du Ministère De L'Energie, le changement climatique paris.
- [3] GIEC et OMM, 2007. Bilan 2007 des changements climatiques.
- [4] Wilhite, D.A., 2000. *Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions*. Drought: A Global Assessment Routledge, London, UK.
- [5] Soro, G.E.; Anouman, D. G.L.; Goula, BI T.A.; Srohorou, B. et Savane, I., 2014. Caractérisation des séquences de sécheresse météorologique à diverses échelles de temps en climat de type soudanais : Cas de l'extrême Nord-ouest de la Cote d'ivoire. *Larhyss/Journal*, 18, 107-124.
- [6] Obassi, G.O., 1994. WMO's Role in the International Decade for Natural Disaster Reduction. *Bulletin of American Meteorological Society*, 75, 1655–1661.
- [7] FAO, juillet 1996. La planification des stratégies contre les effets de la sécheresse.
- [8] OMM, 2006. Suivi de la sècheresse, progrès et enjeu futur.
- [9] Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought, U.S.Department of Commerce. *Weather Bureau Research Paper*. no. 45, 58 pages.
- [10] McKEE T.B.; DOESKEN N.J.; KLEIST J. (1993): The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scale. 8th Conference on Applied Climatology, 179-184.
- [11] Gibbs, W.J. ; Maher, J.V., 1967. Précipitations déciles comme indicateurs de sécheresse. Bureau de météorologie Bulletin n ° 48, Commonwealth d'Australie, Melbourne.
- [12] Tsakiris, G. ; Vangelis, H. ; “Establishing a drought index incorporating evapotranspiration”, *European Water*, no. 9-10, pp. 3–11, 2005.
- [13] Tsakiris, G. ; Pangalou, D. ; Vangelis, H. “Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index _RDI_,” *Water Resources Management*, vol. 21, no. 5, pp. 821–833, 2007.
- [14] Hazaymeh, K.; Quazi, K. H.: Remote sensing of agricultural drought monitoring: A state of art review, Department of Geomatics Engineering, Schulich School of Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada. Currently affiliated with the Department of Geography, Faculty of Arts, Yarmouk University, Irbid, Jordan. 2016.
- [15] DECHEMI N. BERMAD A. HAMRICHE A. 1994. Simulation des débits moyens mensuels en zone semi-aride par l'analyse en composantes principales.

- [16] KETTAB A., MASMOUDI R., BREMOND, B. (2004) – Analysis of the distribution of drinking water in the Algerian south, case of Biskra's region. Eighth International Conference, Cairo, Egypt.
- [17] MOKADMI Saleh., 2012. Etude hydrologique et modélisation du transport solide en suspension dans le sous bassin versant de l'oued Mekerra. Mémoire de Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, p.153.
- [18] ANAT, Agence Nationale pour la Conservation de la Nature, 2000: Programme national sur la conservation de la nature, 40 p.
- [19] DGPC. Direction Générale de la Protection Civil, 2000: Problématique de l'inondation à Sidi Bel Abbes. Rapport.
- [20] Filliol J., 1954: Influence des crues et de la végétation sur la mobilité du lit mineur de quelques rivières françaises. Revue de géographie alpine. Tome 42, N°1. pp. 163–169.
- [21] Martinez-Mena M., Alvarez Rogel J., Albaladejo J., Castillo V. M., 1999: Influence of vegetal cover on sediment particle size distribution in natural rainfall conditions in a semiarid environment. Catena, vol. 38, pp. 175–190.
- [22] Rachman A, Anderson S. H., Gantzer, C. J., Thompson A. L., 2003: Influence of long-term cropping system on soil physical properties related to soil erodibility. Soil Sci. Soc. Am. J., 67, 637–644.
- [23] Khaled Korichi, Abdelkrim Hazzeb 2012 Hydrodynamic Investigation and Numerical simulation of Intermittent and Ephemeral Flows in Semi Arid Regions: Wadi Mekerra, Algeria.
- [24] Bouasria S., Khalladi. M., Khaldi. A., 2010: Ralentissement Dynamique des Inondations au niveau d'un bassin Versant de l'Ouest Algérien: cas de l'Oued Mekerra (Sidi Bel Abbes), European J. Scientif. Res., Vol. 43, No. 2, pp. 172–182.
- [25] Guardia P., 1975. "Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord occidentale". Thèse .Doct. Nice. p. 256.