

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

- جامعة محمد بوضياف - المسيلة

Université Mohamed Boudiaf

FACULTE SCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES
AGRONOMIQUES

N° : 25/DSA/VCDPGR/2024



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE
ET DE LA VIE

FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES

OPTION : SCIENCE DU SOL

Mémoire présenté pour l'obtention
du diplôme de Master Académique

par: **GHEDIRI Raid**

Intitulé

Caractérisation hydrologique de quelques
sous bassins versants du chott Hodna

Soutenu devant le jury composé de:

| | | | |
|-------------------|-----|---------------------------------|-------------|
| Mme HOCEINI Faiza | MCA | Université Med BOUDIAF- M'SILA | Présidente |
| Mme BEDDAL Dalila | MCB | Université Med BOUDIAF - M'SILA | Promotrice |
| Mr. GUESRI Mourad | MCB | Université Med BOUDIAF- M'SILA | Examinateur |

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

La première personne que je tiens à remercier est mon enseignante et ma directrice de ce Travail **Dr BEDDAL DALILA** pour l'orientation, la confiance, la patience et ses bonnes explications qui ont constitué un apport considérable Sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Mes remerciements vont également aux membres du jury madame la présidente **Dr HOCEINI Fayza** et Monsieur l'examineur **Dr GUESRI Mourad**. Merci d'avoir acceptés d'examiner ce modeste travail en accordant votre temps pour cela.

Je présente ma gratitude à **Monsieur GUESRI Mourad** pour son aide et ses conseils dans l'élaboration des cartes et les données que nous a fourni pour achever ce modeste travail.

Tous mes remerciements et ma considération sont adressés à l'ensemble du personnel de **l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) d'Alger** pour l'acquisition de toutes les données Pluviométriques et hydrométriques nécessaires tout au long de l'élaboration de ce travail.

Je voudrais remercier aussi l'ensemble du personnel des direction : des ressources en eau (**DRE**), l'office nationale d'irrigation et de drainage (**ONID**) de la wilaya de M'Sila et le personnel du **barrage de K'Sob** pour leurs accueils, leurs générosité dans l'acquisition de toutes les informations sur le bassins versant du Chott El Hodna.

Mes remerciements s'adressent à tous les Professeurs qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.

Dédicace

Je dédie cette thèse à mes chers parents qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.

En guise de remerciement, j'espère qu'ils trouveront ici l'expression de ma profonde gratitude pour tous les efforts et les ressources qu'ils ont déployés pour me voir réussir mes études.

À toute ma famille et à tous mes amis, A toutes les personnes qui me connaissent et que je connais, ainsi qu'à l'Agence des Ressources en Eau et à la Direction de l'Irrigation et de l'Assainissement des Eaux de M'sila.

Et à tous ceux qui aiment les bonnes actions et n'ont pas honte des obstacles de la vie.

Caractérisation hydrologique de quelques sous bassins versants du chott Hodna

Résumé

Les ressources en eau jouent un rôle crucial dans le développement durable. La disponibilité de cette ressource est un élément clé pour le développement agricole. La caractérisation hydrologique permettant d'une part d'estimer les ressources en eau superficielles disponibles et leurs variabilités dans le temps et dans ce qui aide à la gestion et à la décision dans le but de mieux estimer tout Aménagement future. L'objectif de notre travail est d'identifier les caractéristiques hydrologiques de quelques sous bassins versants du Chott El Hodna par l'évaluation du régime pluviométriques et hydrométriques de quelques oueds. Le climat du bassin versant du Chott El Hodna est semi-aride au nord et saharien au sud. Les précipitations dans les sous bassins versants étudiés connaissent une irrégularité ($C_v \geq 0.3$). Le maximum de précipitations à été observé à partir de l'année 2000. Au contraire, les années quatre-vingt-dix ont enregistré des valeurs les plus faibles. La saison de printemps est la plus pluvieuse ce qui donne lieu à un régime saisonnier de type PAHE, PHAE. L'oued Targa est le plus important avec un débit moyen annuel de l'ordre de 1,13 m³/s. Alors que oued B.aroug produit le plus faible débit liquide (0,58 m³/s). L'ensemble des Oueds étudiés sont irréguliers ($C_v \geq 0,5$) qui est dû essentiellement à l'alimentation pluviale irrégulière des cours d'eau. Les oueds étudiés n'ont pas de débits pérennes, à l'exception des oueds de K'sob et Targa. La nature géologique perméable (massifs de calcaire) favorise l'infiltration de l'eau. Ajoutant à cela, le terrain qui est dénudé ou occupé par des culture de parcours pour le pâturage qui permet aux fortes crues à apporter avec elles des sédiments fins.

Mots clés: Caractérisation, débit liquide, Précipitations, bassin versant, Chott El Hodna.

التوصيف الهيدرولوجي لبعض الاحواض الفرعية للحوض الهيدروغرافي شط الحضنة

ملخص

تلعب الموارد المائية دوراً حاسماً في التنمية المستدامة. توفر هذا المورد هو عنصر أساسي لتطوير المجال الفلاحي. تسمح التوصيفات الهيدرولوجية بتقدير الموارد المائية السطحية المتاحة وتنوعها عبر الزمن من جهة، ومن جهة أخرى، تساعد المسيرين في اتخاذ القرار حيال انجاز المنشآت المستقبلية. يهدف عملنا الى تحديد الخصائص الهيدرولوجية لبعض الاحواض الفرعية لسط الحضنة من خلال تقييم نظام تساقط الامطار والهيدرومتري لبعض الأودية. مناخ حوض شط الحضنة شبه جاف في الشمال و صحراوي في الجنوب. تتعرض الأمطار المتساقطة في الأحواض الفرعية المدروسة لعدم انتظام ($Cv \geq 0.3$) حيث كانت أكبر الكميات المسجلة بدءاً من عام 2000 و على العكس سجلت سنوات التسعينات أدنى القيم. تُعتبر فصل الربيع الأكثر مطراً مما يؤدي إلى نظام موسمي من نوع PAHE, PHAE. بالنسبة للأودية المدروسة يعتبر واد تارغا الأهم حيث يبلغ متوسط تدفقه السنوي حوالي 1.13 م³/ثا بينما ينتج وادي ب. عروج أقل تدفق سائل (0.58 م³/ثا). إن جميع الأودية المدروسة غير منتظمة ($Cv \geq 0.5$) وذلك يعود أساساً إلى النظام المطري المتساقط الغير المنتظم. الأودية التي تم دراستها لا تتمتع بتدفقات دائمة، باستثناء وادي قصب وادي تارغا. تُعزز الطبيعة الجيولوجية نفوذة (كتل الحجر الجيري) تسرب المياه. بالإضافة إلى ذلك، فإن الأرض التي تكون عارية أو مشغولة بالمراعي تسمح للفيضانات القوية بجلب رواسب دقيقة معها.

الكلمات المفتاحية: توصيف، تدفق سائل، هطول الأمطار، حوض التصريف، شط الحضنة

Hydrological characterization of some sub-watersheds of Chott Hodna.

Summary

Water resources play a crucial role in sustainable development. The availability of this resource is a key element for agricultural development. The hydrological characterization allows, on one hand, to estimate the available surface water resources and their variability over time, which aids in management and decision-making in order to better assess any future development. The objective of our work is to identify the hydrological characteristics of several sub-watersheds of Chott El Hodna by evaluating the rainfall and hydrometric regime of some wadis. The climate of the Chott El Hodna watershed is semi-arid in the north and Saharian in the south. The precipitation in the studied sub-watersheds are irregularly ($C_v \geq 0.3$). The maximum rainfall was observed from the year 2000. On the contrary, the 1990s recorded the lowest values. The spring season is the rainiest, which leads to a seasonal regime of the PAHE or PHAE type. The Targa wadis is the most important, with an average annual flow of about 1.13 m³/s. While the B.aroug river produces the lowest liquid flow (0.58 m³/s). All the studied wadis are irregular ($C_v \geq 0.5$), which is mainly due to the irregular rainfall feeding the wadis. The studied wadis do not have perennial flows, with the exception of the K'sob and Targa wadis. The permeable geological nature (limestone massifs) promotes water infiltration. Adding to this, the land that is bare or occupied by pasture crops allows heavy floods to bring with them fine sediments.

Keywords: Characterization, liquid flow, rainfall, watershed, Chott El Hodna.

Table des matières

Remerciements

Résumé

ملخص

Abstract

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Table des matières

Introduction générale 1

Chapitre I : Recueil bibliographique

I.1 Cycle de l'eau..... 3

I.1.1 Définition 3

I.1.2 Eléments du cycle de l'eau..... 3

I.1.3 Cycle de l'eau en milieu semi-aride et aride 4

I.2 Sols des milieux semi-arides et arides..... 5

I.3 Les Précipitations 5

I.3.1 Définition 5

I.3.2 Unités de mesure 6

I.3.3 Appareils de mesure..... 6

I.3.4 Importance de mesure des précipitations 7

I.3.5 Erreurs de la mesure des précipitations 7

| | |
|--|----|
| I.3.6 Traitement des données..... | 7 |
| I.4 Débit liquide du cours d'eau..... | 8 |
| I.4.1 Définition | 8 |
| I.4.2 Méthodes de mesure du débit liquide..... | 8 |
| I.4.3 Jaugeage par exploration du champ de vitesse | 8 |
| I.5 Caractérisation hydrologique | 10 |
| I.5.1 Définition | 10 |
| I.5.2 Étapes de la caractérisation hydrologique | 10 |

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

| | |
|--|----|
| II.1 Localisation géographique..... | 12 |
| II.2 Relief..... | 13 |
| II.3 Caractéristiques morphométriques..... | 14 |
| II.4 Caractéristiques hydrographiques | 16 |
| II.5 Etude climatique | 17 |
| II.5.1 Données climatiques de la station météo de M'sila..... | 17 |
| II.5.2 Précipitations | 18 |
| II.5.3 Température..... | 19 |
| II.5.4 Climatogramme d'EMMBERGER (Q ₂)..... | 21 |
| II.5.5 Diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls..... | 23 |
| II.6 Cadre géologie | 26 |
| II.7 Morphologie des sols | 27 |
| II.8 Occupation du sol..... | 27 |
| II.9 Ressources en eau | 29 |
| II.9.1 Ressources en eau superficielles..... | 29 |
| II.9.2 Ressources en eau souterraines | 29 |
| II.10 L'Agriculture dans le bassin versant du Chott El Hodna | 30 |

Chapitre III : Collecte et traitement des données

| | |
|-------------------------------------|----|
| III.1 Présentation des données..... | 32 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| III.1.1 Données hydrométriques | 32 |
| III.1.1.1 Caractéristiques et localisation..... | 32 |
| III.1.2 Données pluviométriques | 34 |
| III.1.2.1 Caractéristiques et localisation..... | 34 |
| III.2 Traitement des données | 35 |
| III.2.1 Comblement de lacunes..... | 36 |
| III.2.1.1 Données pluviométriques | 36 |
| III.2.1.2 Données hydrométriques | 36 |
| Chapitre IV : Etude du régime hydro-pluviométrique | |
| IV.1 Etude du régime pluviométrique | 38 |
| IV.1.1 Choix des séries pluviométriques et leurs périodes d'étude..... | 38 |
| IV.1.2 Distribution interannuelle et annuelle des précipitations | 38 |
| IV.1.3 Distribution mensuelle des précipitations et régime saisonnier..... | 40 |
| IV.2 Etude du régime hydrométrique | 43 |
| IV.2.1 Choix des séries hydrométriques et leurs périodes d'étude..... | 44 |
| IV.2.2 Variation des Débit moyens annuels et interannuels | 44 |
| IV.2.3 Distribution des Debit moyens mensuels et leurs caractéristiques statistiques | 45 |
| IV.2.4 .1 Coefficient mensuel de debits (CMD)..... | 45 |
| Conclusion Générale | 46 |
| Références bibliographiques | |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I.1: Représentation du cycle de l'eau | 04 |
| Figure I.2. Pluviomètre..... | 06 |
| Figure I.3 : Section transversale du cours d'eau..... | 09 |
| Figure I.4 : Principe du jaugeage par exploration du champ de vitesses..... | 09 |
| Figure II.1: Localisation géographique du bassin versant de la chott Hodna..... | 13 |
| Figure II.2 : Modèle numérique du terrain et réseau hydrographique du bassin versant de chott hodna | 14 |
| Figure II.3 : Découpage et réseau hydrographique du bassin versant du chott El Hodna..... | 16 |
| Figure II.4 : Localisation des points satellitaires utilisés dans le bassin versant de Chott El Hodna | 17 |
| Figure II.5 : Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales des points satellitaires choisis dans le bassin du Chott El Hodna..... | 20 |
| Figure II.6 : Quotient pluviométrique des stations climatologiques utilisées sur le climatogramme d'EMBERGER | 22 |
| Figure II.7 : Courbes ombrothermiques des stations climatiques étudiées | 24 |
| Figure II.8 : Carte géologique du bassin versant de la chott Hodna | 26 |
| Figure II.9 : Carte d'occupation du sol du bassin versant du chott El Hodna | 28 |
| Figure III.1 : Localisation des stations hydrométriques dans le bassin versant de chott hodna | 33 |
| Figure III.2 : Localisation des stations pluviométriques retenues dans le bassin versant du Chott El Hodna..... | 35 |
| Figure IV.1 : Précipitation moyenne annuelle enregistrées aux stations pluviométriques étudiées du bassin versant du Chott El Hodna..... | 39 |
| Figure IV.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées du bassin versant du chott El Hodna..... | 42 |

Liste des Tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau II.1 : Principales caractéristiques des sous bassins versants du Chott El Hodna | 15 |
| Tableau II.2 : Caractéristiques des points satellitaires choisis..... | 17 |
| Tableau II.3 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles des points satellitaires | 18 |
| Tableau II.4 : Valeurs du quotient pluviométrique Q2 des six (06) points satellitaires..... | 21 |
| Tableau II.3 Caractéristiques des barrages existants dans le bassin versant de chott El Hodn..... | 29 |
| Tableau II.4 : Retenues collinaires existantes dans le bassin versant de Chott El Hodna ... | 29 |
| Tableau II.5 : Surfaces agricoles irrigués dans le bassin versant du Chott El Hodna..... | 30 |
| Tableau III.1 : Caractéristiques des stations hydrométriques retenues dans le bassin versant du chott El Hodna..... | 33 |
| Tableau III.2 : Caractéristiques des stations pluviométriques retenues dans le bassin versant du Chott El Hodna..... | 34 |
| Tableau IV.1 : Caractéristiques des séries pluviométrique annuelles dans le bassin versant du Chott El Hodna..... | 38 |
| Tableau IV.2 Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières au niveau des stations étudiées..... | 41 |
| Tableau IV.3 : Régime saisonnier des précipitations dans le bassin versant du Chott El Hodna | 43 |
| Tableau IV.4: Caractéristiques hydrométriques des oueds étudiés du Chott El Hodna au droits des stations hydrométriques | 44 |
| Tableau IV.05 : Répartition des débits moyens mensuels (m ³ /s) et leurs caractéristiques statistiques..... | 45 |

Introduction générale

Introduction générale

L'importance de l'eau est reconnue universellement en tant que support de vie et de facteur régulateur du développement d'un pays. La protection de cette richesse vitale et sa bonne gestion nécessite une stratégie face aux pénuries d'eau, souvent associées à certains phénomènes naturels comme la désertification, les changements climatiques. De par sa position au Nord d'Afrique et au bassin méditerranéen, l'Algérie connaît une variabilité climatique depuis les années soixante-dix marquée par une réduction des précipitations, ce qui a agi directement sur la disponibilité de la ressource en eau (Meddi *et al.*, 2009 ; Meddi *et al.*, 2010; Bakreti *et al.*, 2013 ; El Mahi *et al.*, 2014 ; Baahmed *et al.*, 2015; Achite *et al.*, 2017; Zamoum et Souag- Gamane, 2019). Les potentialités globales en eau du Nord d'Algérie sont évaluées à 19,4 milliards de m³/an. Les ressources en eau souterraine contenues dans les nappes du Nord Algérie (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2 Milliards de m³/an. Les ressources superficielles y sont estimées à 12 milliards de m³/an (Meddi *et al.*, 2009).

Le bassin versant du Chott El Hodna est localisé au Sud-Est de l'Algérie, entre l'Atlas Tellien au nord et l'Atlas Saharien au sud est caractérisé par un climat aride. Ce bassin est endoréique où toutes les eaux de ruissellement se rassemblent dans le Chott El Hodna. Avec la croissance démographique et la demande progressive en eau du secteur agricole, il est nécessaire de quantifier la ressource en eau disponible et de la gérer aussi rigoureusement que possible.

Le présent travail vise à identifier les caractéristiques hydrologiques de quelques sous bassins versants du Chott El Hodna dans le but d'évaluer le régime pluviométriques et hydrométriques de quelques oueds à l'exutoire de ces sous bassins versants. Cette caractérisation permettant d'une part d'estimer les ressources en eau superficielles disponibles et leurs variabilités dans le temps et dans ce qui aide à la gestion et à la décision dans le but de mieux estimer tout Aménagement futur

La présente étude est structurée en quatre (04) chapitres:

- Une synthèse bibliographique servira de base à notre étude,
- Une description détaillée du bassin versant du chott El Hodna : la situation géographique, les grands traits climatiques, hydrographiques, géologiques et hydrogéologiques.

- Présentation des différentes données hydrologiques (pluviométriques, hydrométriques) utilisées des sous bassins versants étudiés ainsi que le traitement qu'elles subissent ces données.
- Etude du régime hydrologique des sous bassins versants étudiés à l'échelle pluviométrique et celle hydrométrique des oueds étudiés à l'exutoire des sous bassins versants étudiés.

A la fin de ce modeste travail, des perspectives et recommandations seront proposées pour aider les gestionnaires et les autorités locales en matière de gestion quantitative des ressources en eau superficielles de la zone d'étude du bassin versant de Chott El Hodna.

PREMIER CHAPITRE :

Synthèse bibliographique

Introduction

Ce chapitre rassemble tous les termes utilisés dans ce travail, il englobe le cycle de l'eau et ses composantes notamment en climat semi-aride et aride qui déterminent le comportement hydrologique d'un bassin versant.

I.1 Cycle de l'eau

I.1.1 Définition

Le cycle de l'eau est un processus continu impliquant le mouvement de l'eau et son renouvellement dans la nature sous ses différents états (liquide, solide, vapeur) (**Makhlouf, 2015**)

I.1.2 Eléments du cycle de l'eau

Le cycle de l'eau est un cercle continu fermé qui n'a ni début ni fin. Il est composé des éléments suivants (voir **Fig I.1**):

- **Evaporation** : Transformation physique de l'eau de la phase liquide à la phase gazeuse sous l'effet de la chaleur. L'évaporation de l'eau se produit à partir des surfaces d'eau libre (lacs, rivières, mer, océans) et du sol (**Pare, 2006 in Bensaci et Bouzaine, 2018**). En tenant compte également de la transpiration végétale, on obtient donc l'évapotranspiration.
- **Précipitations** : Toutes les eaux météorologiques qui tombent sur la surface de la terre, sous différentes formes ; liquide (bruine, pluie), solide (neige, grésil, grêle) (**Bonnet et al., 1970 in Saad Allah, 2018**).
- **Infiltration** : Flux d'eau pénétrant dans le sol à partir de sa surface et peut aller profondément pour alimenter les nappes d'eau souterraines (**Roche, 1963**).
- **Ruissellement** : Ecoulement de l'eau à la surface du sol après sa saturation (**Cosandey et Robinson, 2012**).

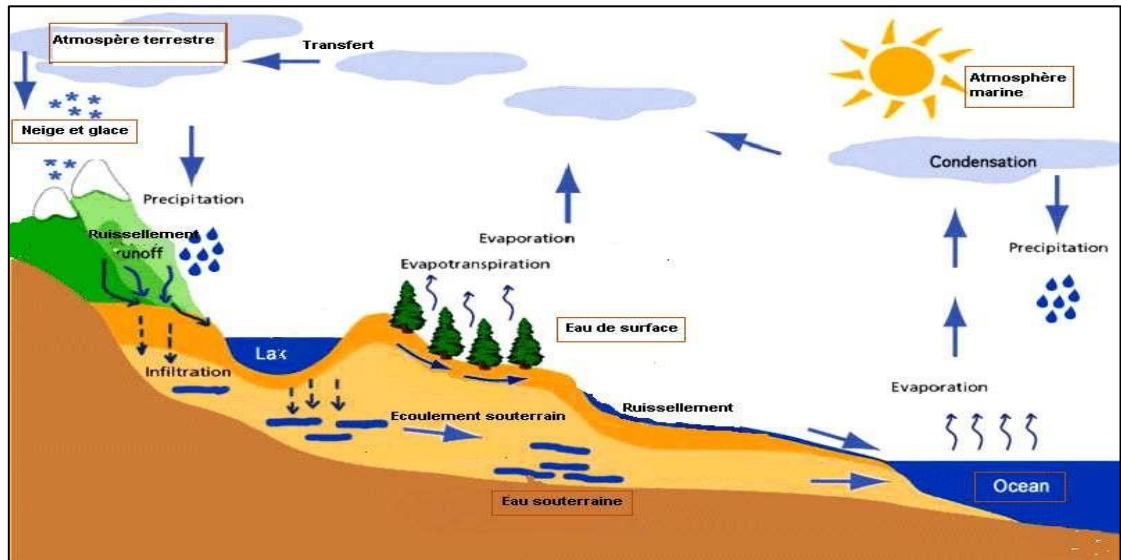


Figure I.1: Représentation du cycle de l'eau (Source : Makhlouf, 2015).

I.1.3 Cycle de l'eau en milieu semi-aride et aride

Le cycle hydrologique en ces milieux se caractérise principalement par la limite de la ressource en eau qui est dû aux:

- ✓ **Faibles et variabilité précipitations:** Les régions semi-arides et arides reçoivent annuellement des précipitations inférieures à 400mm. Ces précipitations sont souvent irrégulières et imprévisibles, ce qui rend difficile la gestion des ressources en eau (Nicholson, 2013).
- ✓ **Évapotranspiration élevée:** Les températures élevées et l'ensoleillement intense augmentent les taux d'évaporation, réduisant ainsi la quantité d'eau disponible pour les plantes et les réservoirs naturels. Les plantes adaptent leurs mécanismes pour réduire la perte d'eau, ce qui peut inclure des cycles de croissance adaptés aux périodes de précipitations (Lund et al., 2018).
- ✓ Les événements hydrologiques sont courts, intenses et variés sur le plan spatial et temporel (Chaponnière, 2005). Lors des rares mais intenses épisodes pluvieux, le ruissellement peut être important, entraînant l'érosion des sols et la formation de ravines (Lund et al., 2018)

- ✓ En raison des sols souvent pauvres et des faibles précipitations, l'infiltration de l'eau dans le sol est limitée, réduisant la recharge des nappes phréatiques.
- ✓ **Pratiques agricoles** : Les techniques agricoles, telles que l'irrigation goutte à goutte et la culture de plantes résistantes à la sécheresse, sont adaptées pour optimiser l'utilisation de l'eau (**Morton, 2011**).

I.2 Sols des milieux semi-arides et arides

Les conditions climatiques sévères que connaissent ces régions influencent fortement la formation, la composition, et la fertilité des sols.

- ✓ **Faible teneur en matière organique** : Les sols de ces milieux ont généralement une faible teneur en matière organique en raison de la rareté de la végétation et de la décomposition lente de la matière organique (**Belnap et Lange, 2003**).
- ✓ **Salinité élevée**: En raison de l'évaporation intense et de la faible lixiviation, les sels peuvent s'accumuler dans les sols, entraînant une salinité élevée. Les plantes dans ces régions ont développé des adaptations spécifiques pour survivre dans des conditions de faible disponibilité en eau et tolérer des niveaux élevés de sels (**Belnap et Lange, 2003**).
- ✓ **Textures varies**: Les sols peuvent varier considérablement en texture, allant des sols sablonneux, qui drainent rapidement, aux sols argileux, qui peuvent retenir plus d'eau mais sont sujets à la cimentation et à la formation de croûtes (**Dregne, 2002**).
- ✓ **Croûtes de surface**: Des croûtes de surface dures et compactes peuvent se former en raison de la faible activité biologique et de la précipitation de sels et d'autres minéraux à la surface du sol (**Dregne, 2002**).
- ✓ **Fertilité limitée**: elle est souvent limitée par la faible disponibilité de nutriments, notamment en azote, phosphore et potassium. Cela est exacerbé par la faible matière organique et la faible activité microbienne (**McKenzie et al., 2004**).

I.3 Les Précipitations

I.3.1 Définition

Est l'ensemble des eaux météorologiques tombées à la surface du sol et sont provoquées par un changement de température et de pression. Elles sont exprimées en lame précipitée en (mm). Les Précipitations sont le facteur essentiel des écoulements de l'eau et constituent la matière première des débits des cours d'eau. (**Roch, 1963**).

I.3.2 Unités de mesure

Les précipitations sont généralement mesurées en millimètres (mm). Cette unité représente la hauteur d'eau accumulée sur une période donnée (généralement 24 heures) (**Goodison *et al.*, 1998**).

I.3.3 Appareils de mesure

Le pluviomètre est l'instrument principal utilisé pour mesurer directement la quantité de précipitations tombée. Il s'agit d'un récipient cylindrique avec un orifice standardisé qui permet de collecter l'eau de pluie. La quantité d'eau recueillie est ensuite mesurée à l'aide d'une graduation graduée en millimètres ou en centimètres (**Goodison *et al.*, 1998**).

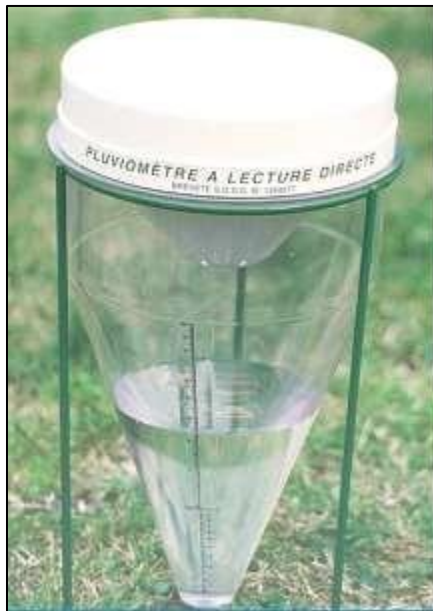


Figure I.2. Pluviomètre

D'autres instruments sont fréquemment utilisés dont les plus courants sont :

- **Pluviographe** : est un pluviomètre permettant l'enregistrement continu la quantité d'eau collectée et l'intensité de pluie (**Goodison *et al.*, 1998**).
- **Pluviomètre à basculement** : Ce type de pluviomètre utilise un système de basculement pour mesurer la quantité d'eau collectée. Chaque basculement correspond à une quantité d'eau prédéterminée (par exemple, 0,1 mm).

En plus des pluviomètres, il existe d'autres méthodes pour mesurer les précipitations, notamment :

- **Radars météorologiques :** Les radars météorologiques peuvent mesurer les précipitations sur une grande surface en émettant des ondes radio et en analysant le signal de retour.
- **Modèles de simulation hydrologique :** Les modèles de simulation hydrologique peuvent être utilisés pour estimer les précipitations en tenant compte de divers facteurs, tels que la topographie, le climat et les données météorologiques historiques.

I.3.4 Importance de mesure des précipitations

La mesure des précipitations est cruciale pour de nombreuses applications, allant de la gestion des ressources en eau à la prévision météorologique et à l'étude du changement climatique.

- Meilleure compréhension du cycle de l'eau et son impact sur les écosystèmes et les ressources en eau douce.
- Prévision des crues et de la sécheresse, ce qui permet de prendre des mesures de prévention et de gestion des risques.
- Gestion des ressources en eau, notamment pour l'allocation de l'eau à l'agriculture, à l'industrie et à l'usage domestique.
- La recherche scientifique pour étudier le changement climatique et ses impacts sur les ressources en eau (**Sevruk, 1982**).

I.3.5 Erreurs de la mesure des précipitations

La mesure des précipitations peut être sujette à diverses erreurs, qui peuvent être :

- Erreurs instrumentales : calibrage incorrect, défaillance mécanique de l'instrument.
- Erreurs environnementales : Vent, Installation incorrecte.
- Erreurs humaines : Lecture incorrecte, modification de l'environnement du capteur (urbanisation), enregistrement incorrect ou absence de mesure (**Duchon et Essenberg, 2001**)

I.3.6 Traitement des données

Les séries pluviométriques sont rarement utilisées à l'état brut car elles sont souvent incomplètes. Elles contiennent souvent des lacunes c'est-à-dire absence de mesure pouvant être dû à une panne de l'appareil, ou à l'absence de l'observateur ou à l'arrêt de la station. La présence de plusieurs lacunes rend leurs traitements nécessaires avant de les utiliser dans les différentes analyses.

Le comblement des lacunes des valeurs manquantes est effectué par plusieurs méthodes:

- Le remplacement de la pluie manquante par celle observée à la station la plus proche à condition de vérifier l'altitude et l'exposition dans le relief des deux stations.
- La moyenne des pluies des stations voisines. Cette méthode est fiable lorsque les précipitations ne sont pas très irrégulières d'un poste à l'autre ; un seuil de tolérance de 10% est acceptable.
- La régression linéaire entre deux stations voisines ayant la même altitude.

I.4 Débit liquide du cours d'eau

I.4.1 Définition

Est la quantité de liquide qui passe par une section donnée d'un cours d'eau et par unité de temps (**Buchanan et Somers, 1969**). Il est généralement exprimé en mètres cubes par seconde (m^3/s).

I.4.2 Méthodes de mesure du débit liquide

Ce sont des techniques directes effectuées sur terrain, connus sous le terme l'hydrométrie. Plusieurs méthodes existent et le choix de la méthode de mesure dépend de la nature de l'écoulement dans le cours d'eau (crue, étiage). Parmi ces méthodes on distingue :

- ✓ Jaugeage par exploration du champ de vitesses.
- ✓ Jaugeage au flotteur.
- ✓ Jaugeage chimique ; un traceur est ajouté au liquide, et la concentration du traceur est mesurée en aval pour déterminer le débit (**Jones, 1995**).
- ✓ Jaugeage par déversoir.

I.4.3 Jaugeage par exploration du champ de vitesse

Est la méthode la plus utilisée qui détermine le débit à partir du produit de la vitesse moyenne de l'écoulement et de l'aire de la section transversale du chenal (Fig I.3).

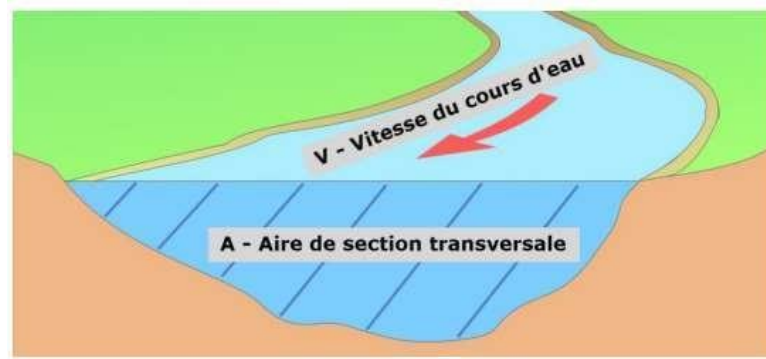


Figure I.3 : Section transversale du cours d'eau

Le calcul du débit d'écoulement par le jaugeage par exploration du champ de vitesses est effectué en respectant les étapes suivantes :

- ✓ La section transversale est subdivisée en des sous-sections selon la largeur du cours d'eau.
- ✓ L'aire de chaque sous-section est déterminée directement en mesurant la largeur et la profondeur de la sous-section.
- ✓ La vitesse dans chaque sous-section est calculée sur différentes profondeurs en utilisant le plus souvent le moulinet hydrométrique.
- ✓ Le débit de chaque sous-section est calculé en multipliant l'aire de la sous-section (A_i) par la vitesse moyenne dans la sous-section.
- ✓ Le débit total de l'écoulement dans la section transversale est alors obtenu en additionnant les débits partiels de toutes les sous-sections.

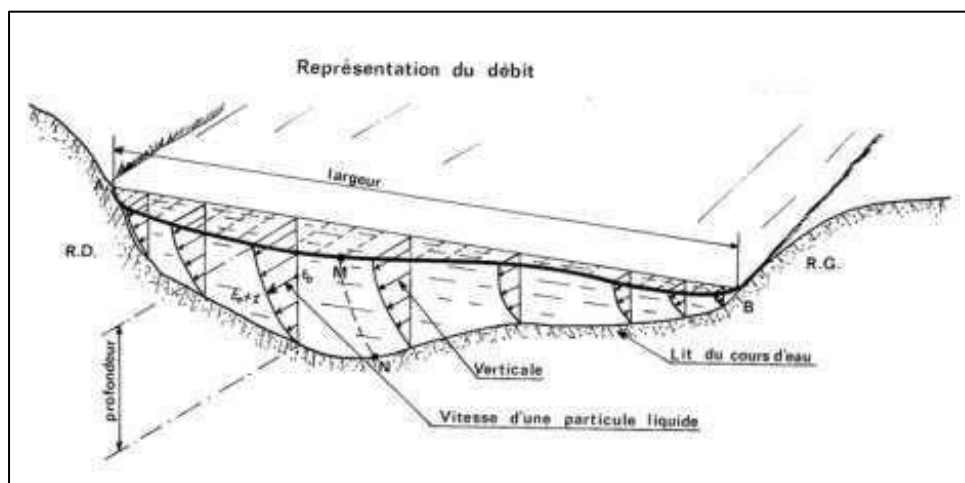


Figure I.4 : Principe du jaugeage par exploration du champ de vitesses

Généralement, au niveau des stations hydrométriques, il n'existe pas de mesure directe de débit mais d'un enregistrement continu des variations de la hauteur d'eau en une section donnée. La section de mesure au droit de la station hydrométrique comporte une échelle limnimétrique inclinée pour faciliter la lecture. Un limnigraphe est installé à l'intérieur de la station hydrométrique qui fournit sur un support (papier) un enregistrement continu des variations du niveau du cours d'eau. La courbe obtenue est la courbe des hauteurs d'eau en fonction du temps $H = f(t)$ qui sera transformée en courbe des débits $Q = f(t)$

I.5 Caractérisation hydrologique

I.5.1 Définition

La caractérisation hydrologique est le processus d'analyse et de description des caractéristiques hydrologiques d'un bassin versant ou d'une région spécifique. Cela inclut l'étude des différents éléments liés au cycle de l'eau tel que les précipitations, des débits liquides, de l'évapotranspiration, des niveaux de nappe phréatique....

La caractérisation hydrologique est essentielle pour la gestion des ressources en eau, la planification environnementale, et la prévision des risques liés aux inondations et aux sécheresses.

I.5.2 Étapes de la caractérisation hydrologique

La réalisation d'une caractérisation hydrologique d'un bassin versant donné passe par les étapes suivantes :

- a. **Collecte de données:** les principales données nécessaires dans toute étude hydrologique sont :
 - **Données météorologiques :** Précipitations, température, humidité, vitesse et direction du vent.
 - **Données hydrométriques :** Débits liquide ou solide des cours d'eau.
 - **Données géographiques :** Topographie, type de sol, couverture végétale, occupation du sol.
 - **Données historiques :** Séries temporelles de données hydrologiques et météorologiques pour analyser les tendances et les variations.

A. Analyse des données: Les analyses à réaliser diffèrent selon l'objectif de l'étude traitée.

Ci-dessous les analyses les plus connus et utilisés.

- **Statistiques descriptives** : Moyennes, médianes, écarts-types, etc., pour décrire les données.
- **Analyses de tendance** : Identification des tendances à long terme dans les données hydrologiques et météorologiques.
- **Analyse fréquentielle** : Évaluation de la fréquence des événements extrêmes (inondations, sécheresses) à l'aide de distributions statistiques.

B. Simulation hydrologique: l'utilisation des modèles mathématiques simplifiés représentant le processus hydrologique réel.

La caractérisation hydrologique est une étape cruciale pour la gestion des ressources en eau, la planification de l'aménagement du territoire et l'évaluation des impacts environnementaux. En suivant une méthodologie rigoureuse et en utilisant des outils appropriés, il est possible de comprendre en profondeur le fonctionnement hydrologique d'une région et de prendre des décisions éclairées pour sa gestion durable.

Conclusion

L'ensemble des termes cités et décrits dans cette partie nous servirons de base pour comprendre les phénomènes et interpréter les résultats trouvés.

Deuxième Chapitre :

Présentation de la zone d'étude

Introduction

La bonne connaissance du milieu physique (zone d'étude) est un moyen d'aide à la compréhension du phénomène étudié et à l'interprétation des résultats obtenus. Ce chapitre est une synthèse des caractéristiques géographiques, hydrographiques, climatiques, géologiques et hydrogéologiques du bassin versant du chott El Hodna.

II.1 Localisation géographique

Le bassin versant de Chott El Hodna est situé au Nord-Est de l'Algérie septentrionale (Fig II.1). C'est l'endroit où convergent les eaux provenant de l'atlas saharien au Sud et l'atlas tellien au Nord (**Boumezbour, 2002**).

Ce bassin versant est reconnu par la présence de la zone humide du chott d'importance internationale par la convention de Ramsar en 2001 (**Guergueb et al., 2014**).

Le bassin versant du Chott El Hodna est délimité :

- ✓ Au Nord par la chaîne du Bibans et les monts du Hodna d'altitude comprise entre 1400 m et 1800 m (**Jean et Franco, 1995**).
- ✓ Au Sud par l'extrémité orientale de l'Atlas Saharien (prolongement des monts du Ouled Naïls d'altitude comprise entre 1470 m et 1675 m et les Monts du Zab (980 m).
- ✓ A l'Est par Djebel Metlili (1495 m) et au Sud-Est par Djebel Tsenia (**Kaabeche, 1990**).
- ✓ Au Sud-Ouest par la terminaison des monts de Ouled Naïl (**Mimoune, 1995**).
- ✓ A l'Ouest par les hautes plaines steppiques Algéro-oranaises où l'altitude moyenne est comprise entre 900 m et 1200 m (**Jean et Franco, 1995**).

La superficie du bassin versant du Chott El Hodna est de 26 000 Km². Il est géré par l'agence nationale des ressources hydrique sous le code 05.

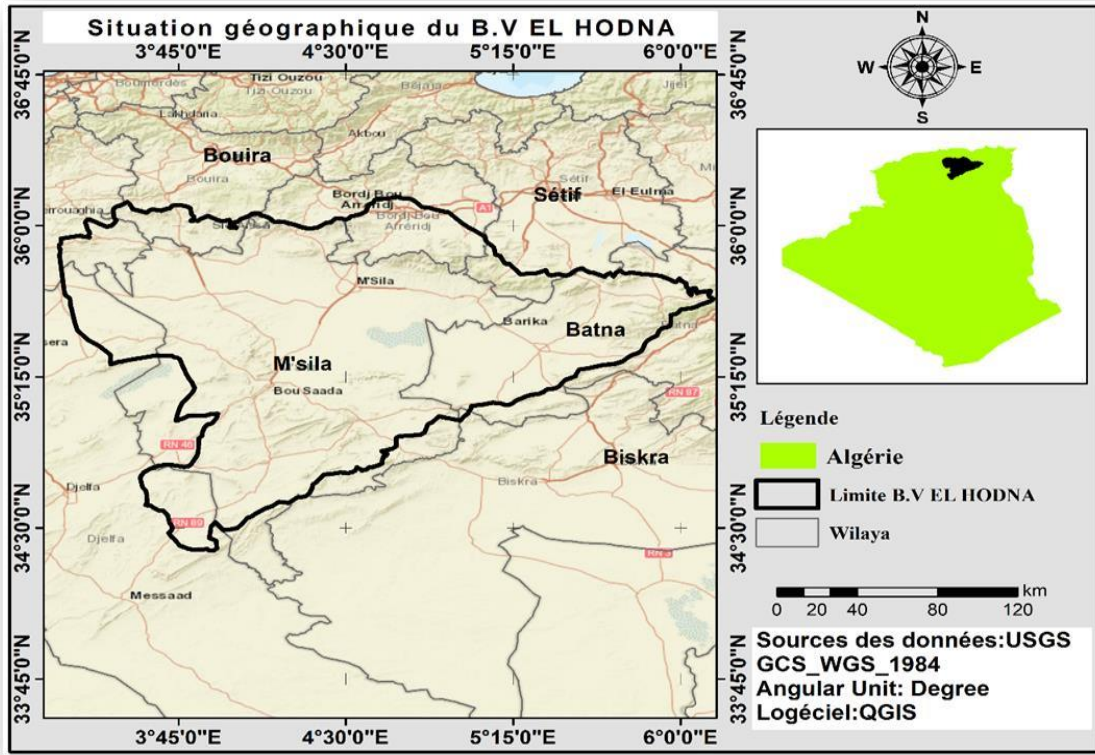


Figure II.1: Localisation géographique du bassin versant de la chott Hodna.

II.2 Relief

Le bassin-versant du Chott El Hodna marque la transition entre le domaine tellien au nord et le Sahara au sud (Fig II.2). Le passage entre ces deux domaines, marqué par une succession d'ensembles montagneux et de plaines (**Kebiche, 1993**). En effet, l'écran montagneux formé par la chaîne du Hodna (1875 m) et des monts du Titteri (1309 m) forme une véritable barrière à accès difficile. Au pied de cet obstacle, la plaine du bassin-versant est l'unité la plus vaste. Entre les massifs montagneux et la plaine centrale, le piedmont est constitué par de vastes glacis d'érosion parsemés de ravins. Au sud, on trouve les monts d'ouled Nail (1623 m) de l'atlas saharien Bousaada.

La plaine de Chott Hodna est une large dépression dont le fond atteint une altitude de 391 m. cette plaine sépare le Chott proprement dit de la région saharienne. Le chott a un relief plat et microrelief ondulé.

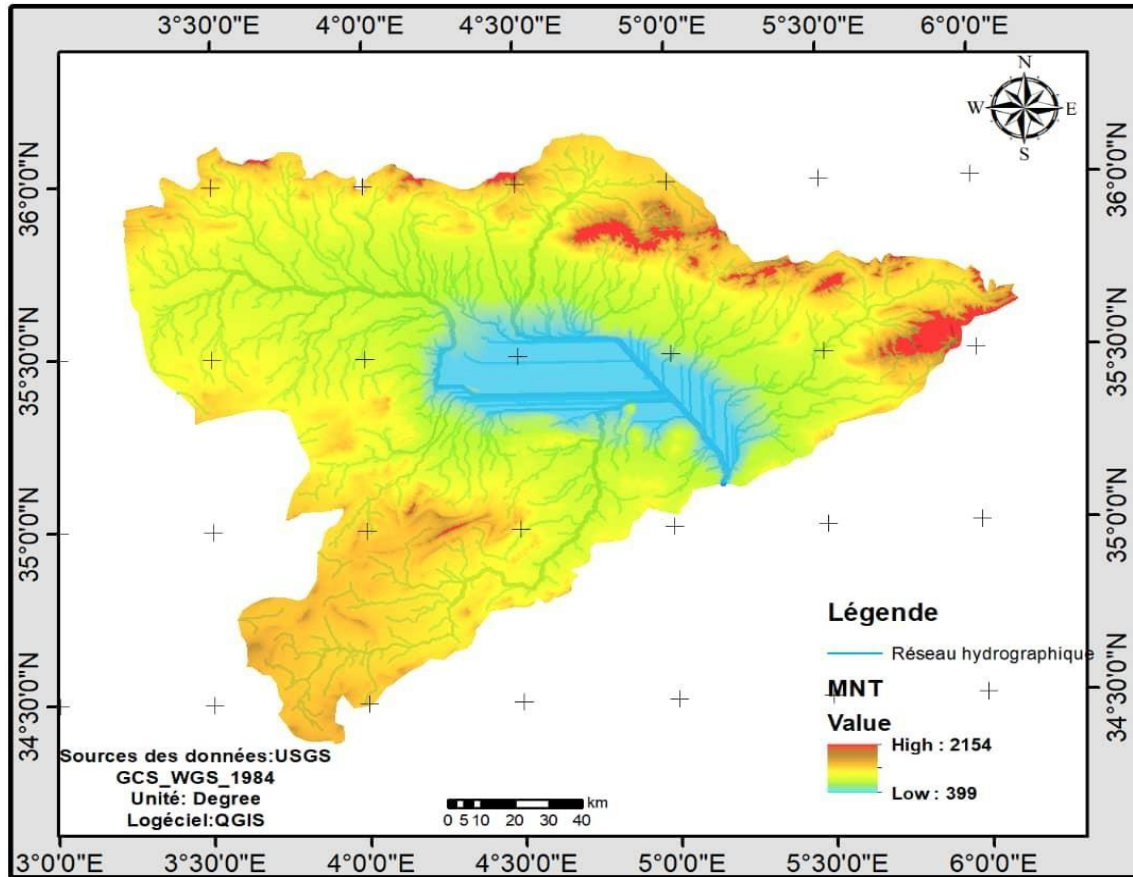


Figure II.2 : Modèle numérique du terrain et réseau hydrographique du bassin versant de chott hodna

II.3 Caractéristiques morphométriques

Selon le découpage de l'agence nationale des ressources hydriques (A.N.R.H), le bassin versant du chott El Hodna est composé de vingt-quatre (24) sous bassins versants (voir Fig II.3 et Tab II.1). Les sous bassins versants de Sbisseb et celui de Soubella sont les plus grands alors que le sous bassin versant de Lougmane est plus petit. L'ensemble de ces sous bassins versants a une forme allongée ($K_c > 1$), ce qui montre un temps de concentration élevé. Les principaux oueds dans le bassin versant du chott El Hodna sont : Oued K'Sob et Oued M'sila à l'Ouest et Oued M'sif Aval à l'Est.

Tableau II.1 : Principales caractéristiques des sous bassins versants du Chott El Hodna

| Code du sous bassin versant | Nom du sous bassin versant | S (Km ²) | P (Km) | K _c | L (Km) |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------|--------|----------------|--------|
| 01 | El-Ham | 791.6 | 197.7 | 1.97 | 57.4 |
| 02 | Sbissebe | <u>1847</u> | 349.2 | <u>2.28</u> | 87.8 |
| 03 | Guerrini | 1050 | 240.3 | 2.08 | 62.2 |
| 04 | Djenene | 842.3 | 189.8 | 1.83 | 55.1 |
| 05 | Torga | 1035 | 230.4 | 2.01 | 61.4 |
| 06 | El Karse | 563.7 | 135.2 | 1.59 | 41.7 |
| 07 | El Leham | 629.7 | 149.8 | 1.67 | 45.2 |
| 08 | Lougman | <u>336.9</u> | 92.1 | 1.40 | 30.7 |
| 09 | K'sob | <u>1480</u> | 271.3 | 2.00 | 74.5 |
| 10 | M'sila | <u>1439</u> | 271.3 | 2.00 | 74.5 |
| 11 | Soubella | <u>1828</u> | 335.5 | 2.20 | 89.4 |
| 12 | Barika amont | 886.2 | 207.8 | 1.95 | 58.3 |
| 13 | Barika aval | 989.6 | 231.4 | 2.06 | 64.2 |
| 14 | Barriche | 518.2 | 125.7 | 1.55 | 37.8 |
| 15 | Bithem Barika | 1389 | 262.1 | 1.97 | 73.4 |
| 16 | Maiter amont | 651.9 | 152.4 | 1.67 | 44.1 |
| 17 | Boussaâda | 1008 | 224.8 | 1.98 | 63.8 |
| 18 | Maiter aval | 1253 | 242.5 | 1.92 | 68.1 |
| 19 | Ain Rich | 1090 | 244.2 | 2.07 | 68.7 |
| 20 | Chair amont | <u>1551</u> | 292.1 | 2.08 | 82.6 |
| 21 | Chair aval | 857.4 | 198.5 | 1.90 | 56.2 |
| 22 | M'cif amont | 959.7 | 224.1 | 2.03 | 63.5 |
| 23 | M'cif aval | 777.1 | 181.2 | 1.82 | 51.3 |
| 24 | Chott El Hodna | 1150 | - | | - |

Avec :

S : surface du sous bassin versant (Km²) , P : Périmètre (Km) , K_c : coefficient de compacité

$K_c = 0.28 \times \frac{P}{\sqrt{S}}$, L : Longueur du cours d'eau principale (Km)

II.4 Caractéristiques hydrographiques

Le bassin du Chott El Hodna est de nature endoréique dont la disposition des reliefs montagneux du nord et du sud lui permet l'écoulement des eaux superficielles et souterraines de cette région autour d'une cuvette fermée (**Kebiche, 1993**). Les oueds provenant des régions telliennes (nord) sont à l'origine de la richesse du Hodna. Les plus importants oueds sont : oued El K'sob, Oued Barika, Oued El Leham et oued Bousaada. Les oueds denses étalent leurs Sédiments sous forme de crue au nord la Sebka, la zone Sud du Chott se distingue par sa nature sableuse. Elle est parcourue par un réseau hydrographique peu dense.

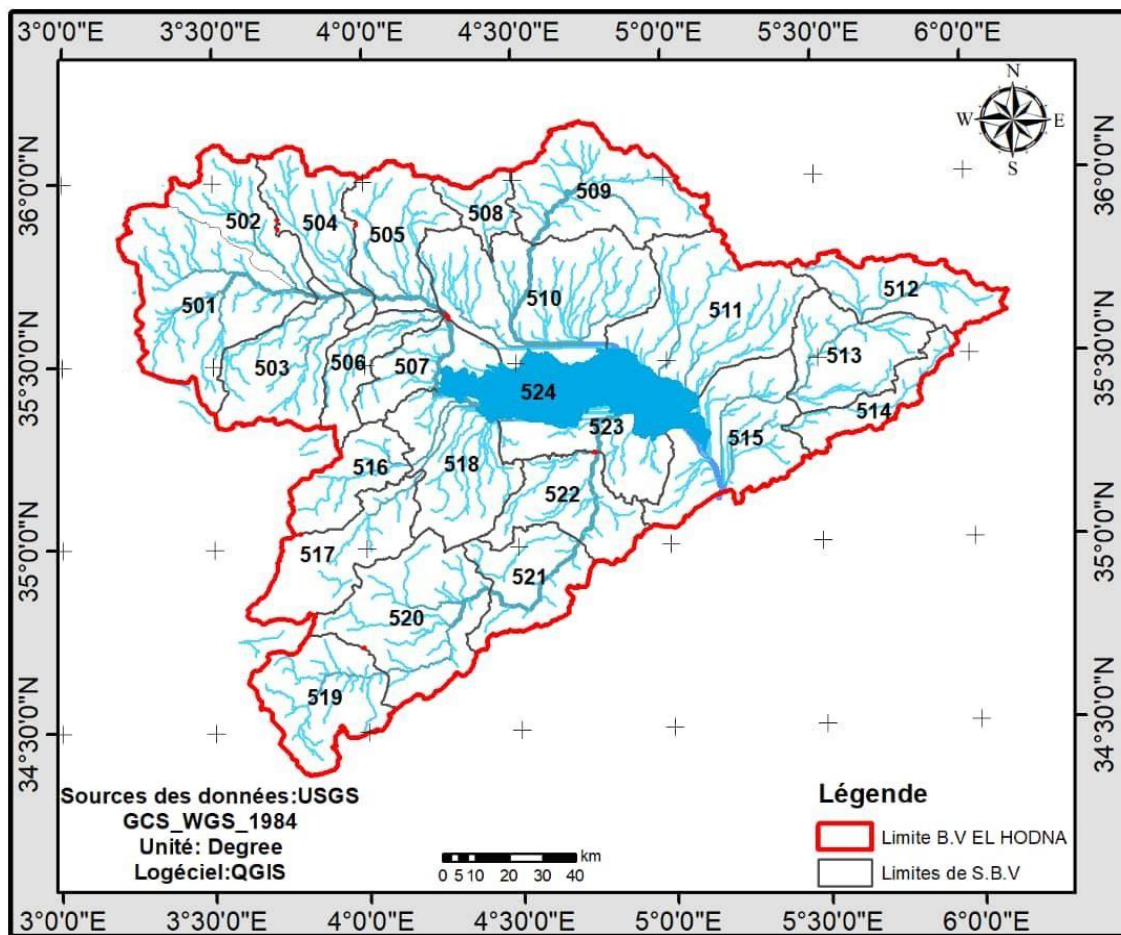


Figure II.3 : Découpage et réseau hydrographique du bassin versant du chott El Hodna

II.5 Etude climatique

II.5.1 Données climatiques de la station météo de M'sila

Pour identifier et étudier le climat dans le bassin versant de Chott El Hodna, six (06) points satellitaires (Tab II.2) ont été utilisés pour couvrir l'ensemble du bassin vu la variété d'altitude. Ces données climatiques ont été téléchargées du site internet de NASA (National Aeronautics and Space Administration) (<https://power.larc.nasa.gov/dataaccess-viewer/>) avec une résolution de (0.5 x 0.5 degré) durant la période allant de 1990 à 2019 soit 30 ans.

Tableau II.2 : Caractéristiques des points satellitaires choisis

| Nom du point satellitaire | Code | Coordonnées | | |
|---------------------------|------|-------------|-------|-------|
| | | Lat. | Long. | Z (m) |
| Ain Melh | X1 | 34.69 | 4.08 | 645 |
| Bordj Ghedir | X2 | 36.03 | 4.92 | 1028 |
| Boussada | X3 | 35.23 | 4.16 | 725 |
| M'sila | X4 | 35.66 | 4.51 | 558 |
| N'Gaous | X5 | 35.40 | 5.51 | 906 |
| Sidi Aissa | X6 | 35.90 | 3.81 | 759 |

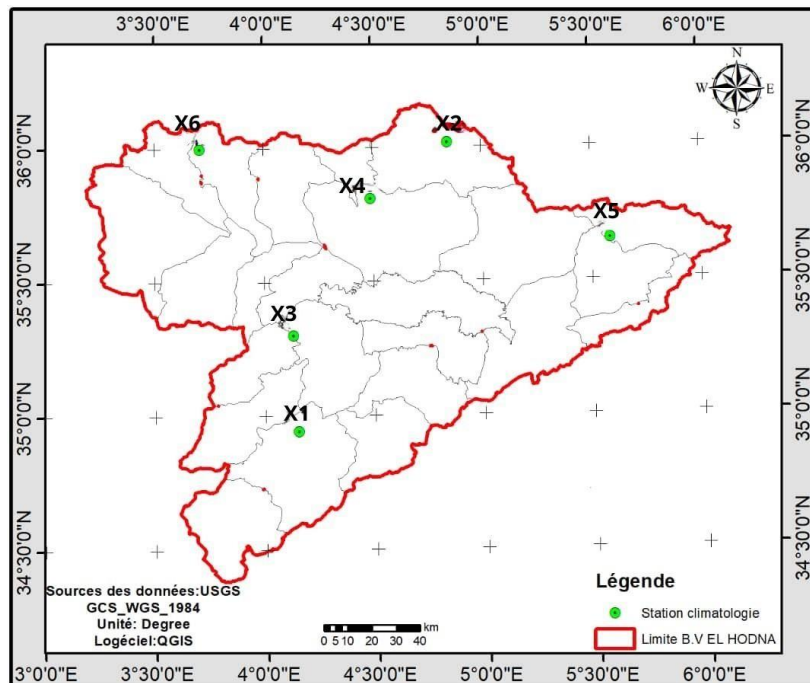


Figure II.4 : Localisation des points satellitaires utilisés dans le bassin versant de Chott El Hodna

II.5.2 Précipitations

Elles représentent un élément fondamental du climat. Les précipitations moyennes mensuelles durant la période (1990-2019) issues des points satellitaires sont présentées au tableau II.3 suivant.

Tableau II.3 : Précipitations moyennes annuelles et mensuelles des points satellitaires.

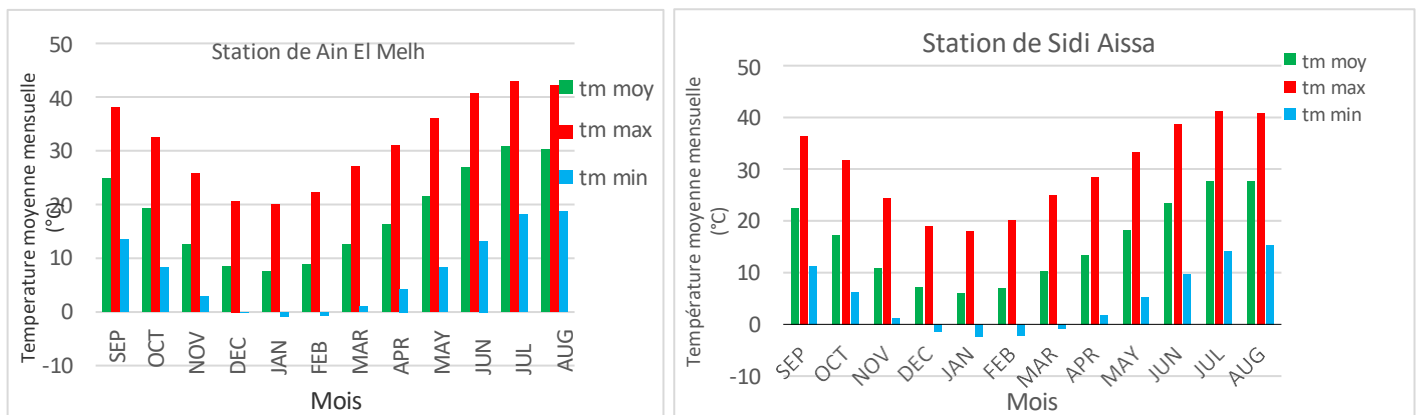
| mois/précipitation | SEP | OCT | NOV | DEC | JAN | FEB | MAR | APR | MAY | JUN | JUL | AUG | Année |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------------|
| P Ain melh (mm) | 23,9 | 19,7 | 14,8 | 13,7 | 16,7 | 10,2 | 15,3 | 20,7 | 17,2 | 4,7 | 2,8 | 9,5 | 169,2 |
| Pbordj ghdir (mm) | 49,0 | 43,4 | 51,9 | 60,8 | 63,3 | 46,4 | 56,1 | 61,3 | 51,0 | 18,6 | 5,6 | 14,6 | 522 |
| P boussada (mm) | 27,6 | 23,0 | 18,6 | 20,4 | 22,1 | 13,9 | 20,6 | 27,9 | 26,9 | 7,9 | 3,5 | 10,5 | 223 |
| Pmsila (mm) | 27,2 | 23,2 | 23,4 | 24,4 | 27,8 | 17,9 | 27,1 | 33,0 | 30,8 | 9,3 | 2,8 | 10,0 | 256,9 |
| P N'Gaouse (mm) | 36,04 | 27,77 | 25,49 | 26,89 | 28,30 | 18,98 | 33,57 | 37,62 | 39,73 | 16,87 | 4,57 | 14,24 | 310 |

Les résultats du tableau II.3 montrent que la station d'Ain El Melh située au sud du bassin enregistre la plus faible valeur (169 mm) alors que la maximum de précipitations annuelles (522 mm) est enregistré à Bordj Ghedir au Nord-Ouest du bassin versant. La partie centrale du bassin reçoit un cumul moyen annuel de l'ordre 260 mm environ.

Entre la fin du mois de septembre jusqu'au début mai, le Nord d'Afrique est soumis à l'influence du front polaire dont les perturbations arrivent jusqu'en Méditerranée. Toutefois, le Hodna reste en position d'abri derrière l'écran montagneux des reliefs septentrionaux. Cependant, certaines perturbations qui pénètrent dans le Bassin Méditerranéen par le sud-ouest de la France arrivent dans le bassin du Hodna. Le temps devient alors nuageux et donne quelques pluies. En été, il arrive que des cyclones du front polaire venus de l'ouest de l'Europe et pénètrent dans le bassin méditerranéen occidental et causent des perturbations de courte durée. Dans le bassin du Hodna, il se traduit par une rotation brutale des courants aériens, qui soulève ainsi des tempêtes de sables et de poussières et amènent exceptionnellement de petites pluies. Les perturbations de l'anticyclone des Açores redescendent sensiblement vers le sud au début de l'automne. Ces perturbations n'arrivent pas à pénétrer dans le Hodna car une dorsale de hautes pressions prolonge l'anticyclone des Açores permet le maintien d'un beau temps calme.

II.5.3 Température

Elle joue également un rôle primordial dans l'identification du climat d'une région donnée. Les températures moyennes mensuelles, maximales et minimales durant la période (1990-2019) enregistrées au niveau des points satellitaires choisis sont présentées dans la figure II.5.



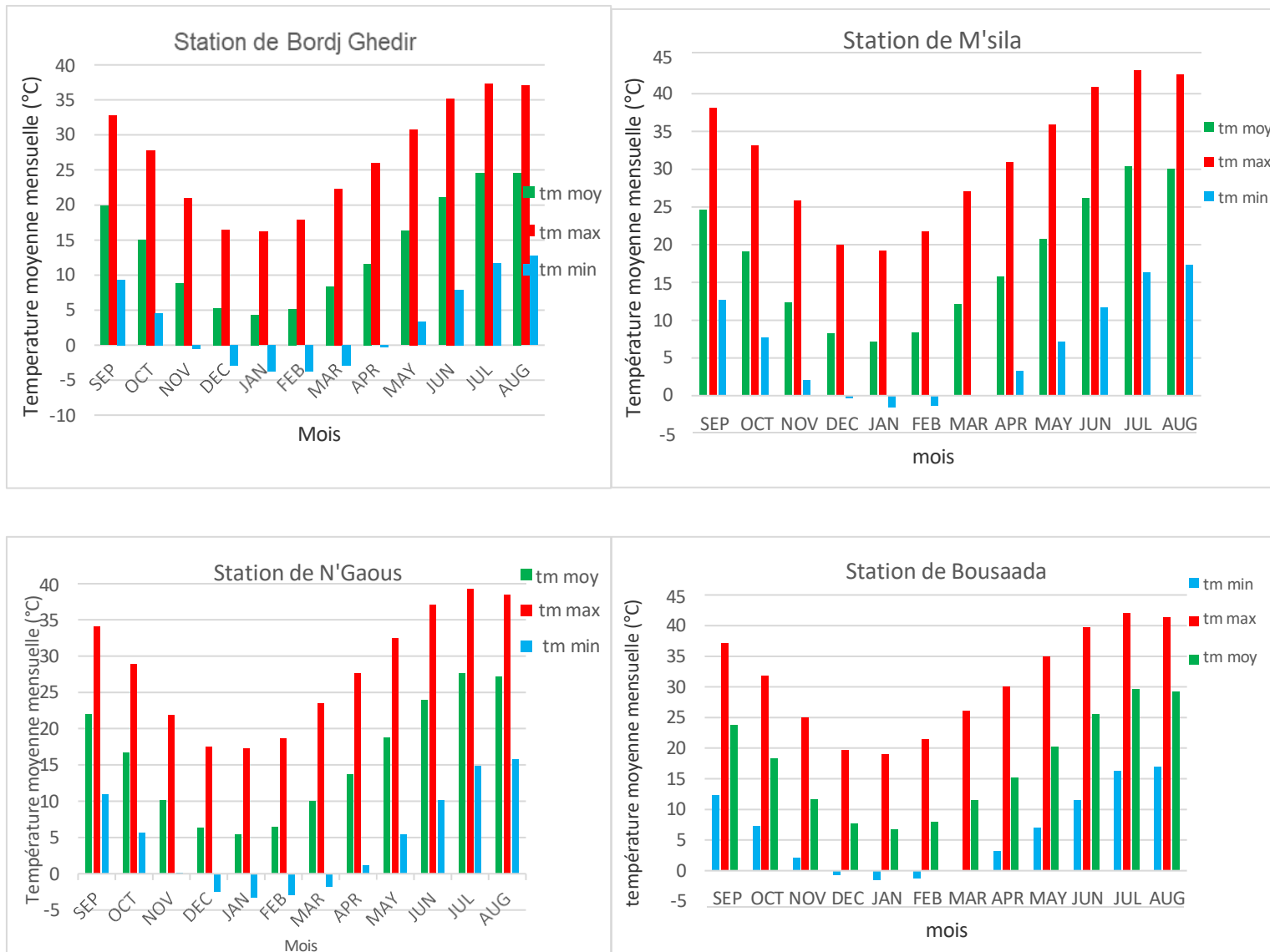


Figure II.5 : Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales des points satellitaires choisis dans le bassin du Chott El Hodna

L'analyse de la figure II.5 montre que :

- Le mois le plus froid est Janvier pour l'ensemble des stations dont la température minimale est inférieure à zéro et peut s'abaisser jusqu'à -3,8° à Bordj Ghedir. Alors qu'à Ain El Melh elle atteint -0.8°.
- Les mois de Juillet et Aout sont les mois les plus chauds de l'année dont les régions de M'sila, Bousaada et Ain El Melh enregistrent des valeurs maximale de l'ordre de 42,5° alors que le nord du bassin le maximum de température est de 39°.

II.5.4 Climatogramme d'EMMBERGER (Q₂)

Il permet la classification des différents climats méditerranéens (**Dajoz, 1972**), grâce au calcul d'un quotient Q₂ qui donné par la formule suivante :

$$Q_2 = 2000 \left[\frac{P}{M^2 - m^2} \right]$$

Avec :

P : Précipitation moyenne annuelle (mm).

M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud en ° Kelvin (°K).

m : Moyenne des minima du mois le plus froid en ° Kelvin (°K).

Les résultats de calcul du quotient pluviométrique Q₂ des trois (06) stations climatologiques sont donnés au tableau II.4 suivant.

Tableau II.4 : Valeurs du quotient pluviométrique Q₂ des six (06) points satellitaires.

| Nom de la station | P (mm) | M (°K) | m (°K) | m (°C) | Q ₂ | Couleur |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------------------|---------|
| Ain El Melh | 169,2 | 315,9 | 272,3 | -0,8 | <u>13,2</u> | |
| Bord Ghedir | 500,0 | 310,4 | 269,3 | -3,8 | 43,8 | |
| Boussada | 223,0 | 315,1 | 271,7 | -1,4 | <u>17,5</u> | |
| M'sila | 256,9 | 316,2 | 271,6 | -1,5 | <u>19,6</u> | |
| Sidi Aissa | 432,5 | 314,4 | 270,6 | -2,5 | 33,7 | |
| N'Gaous | 310,0 | 312,4 | 269,9 | -3,2 | 25,0 | |

Les valeurs de Q₂ et la moyenne des minima m du mois le plus froids ainsi obtenus sont portées sur le climatogramme d'EMMBERGER (Figure II.6) suivante.

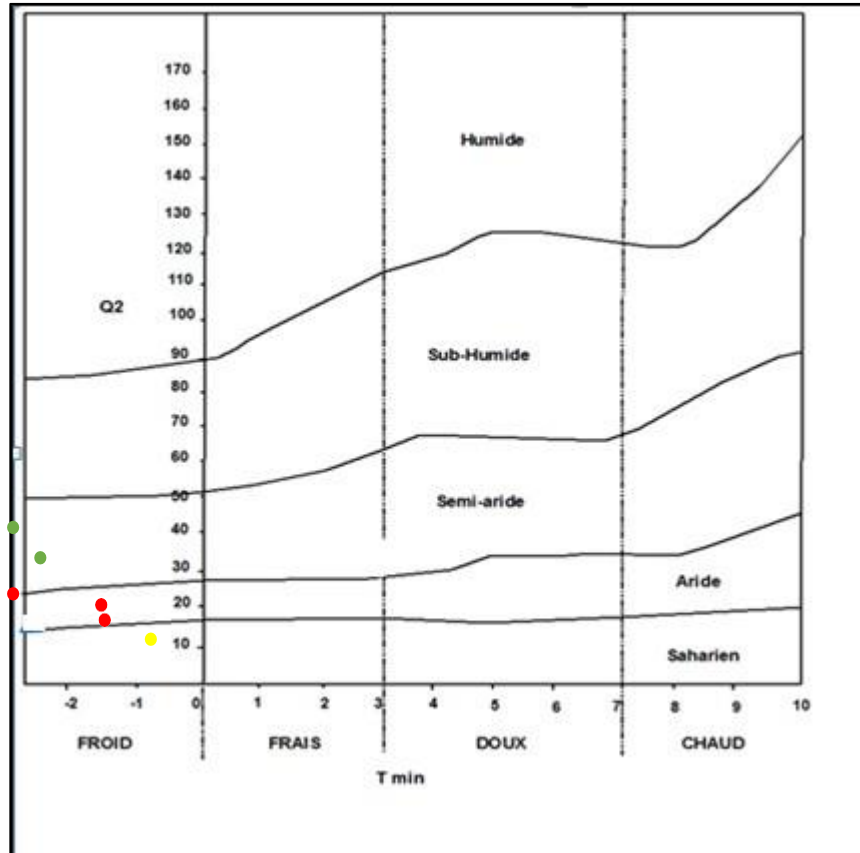


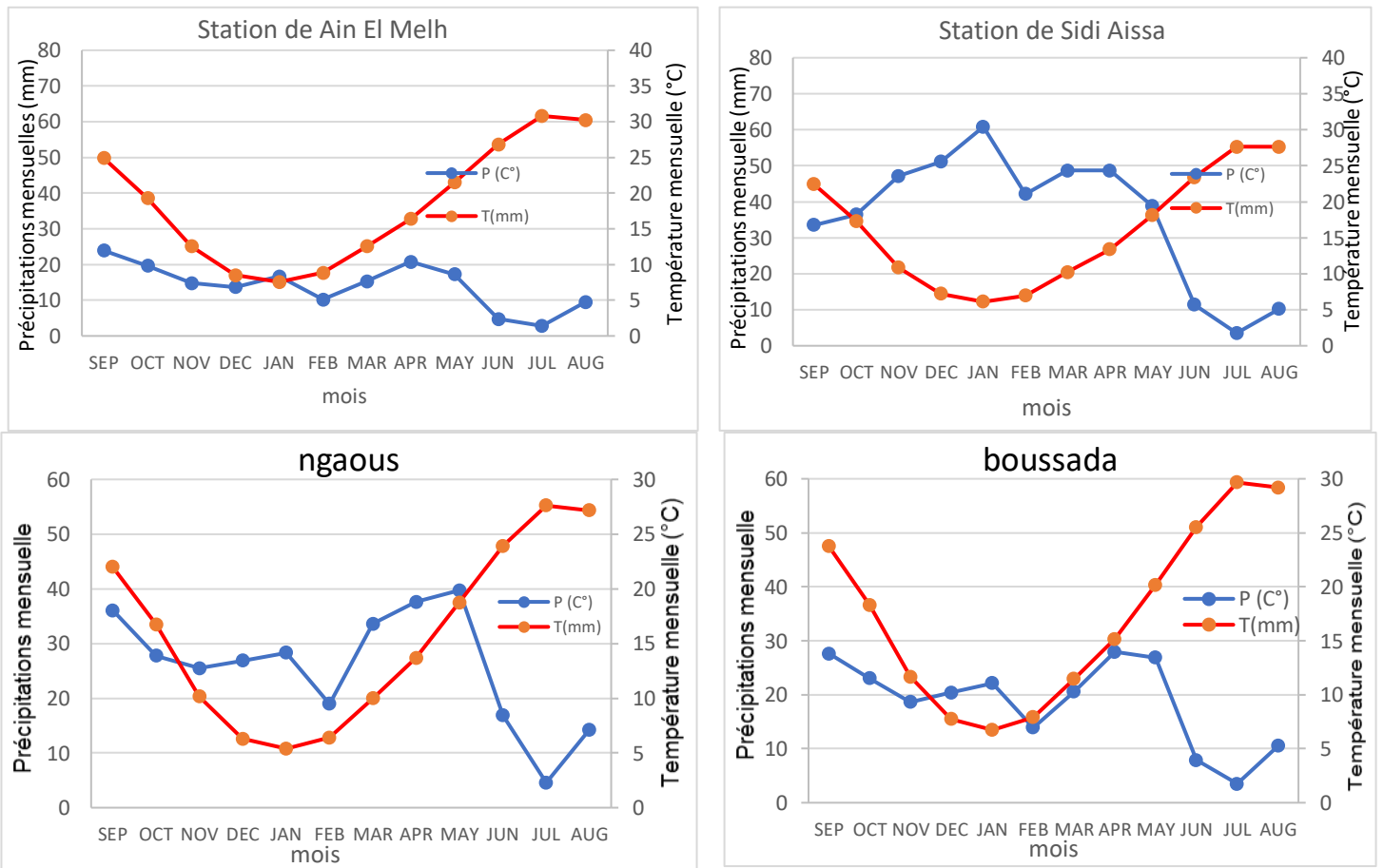
Figure II.6 : Quotient pluviométrique des stations climatologiques utilisées sur le climatogramme d'EMBERGER

La projection des caractéristiques climatiques des points satellitaires dans le climatogramme d'Emberger (Fig II.6) montre que le passage entre deux domaines ; Tell au nord et l'Atlas Saharien au sud est marqué par une succession d'ensembles montagneux et de plaines. Ce qui favorise la diversité des milieux bioclimatiques. La station de Ain El Melh située au sud du bassin versant de Chott El Hodna est située dans l'étage climatique saharien. Les stations de Bousaada et M'sila sont situées dans l'étage climatiques aride. Les stations de Bordj Ghedir et Sidi Aissa situées au nord du bassin versant sont dans l'étage semi-aride. La station de N'Gaous est à la limite entre l'aride et le semi-aride.

II.5.5 Diagramme ombrothermique de Gausсен et Bagnouls

Est un outil graphique qui permet de visualiser la relation entre les précipitations et les températures moyennes mensuelles, fournissant des informations précieuses sur la durée et l'intensité des périodes de sécheresse. Les diagrammes ombrothermiques des points étudiés sont illustrés dans la figure II.7 suivante

L'analyse des figures II.7 indique que l'intersection entre la courbe de précipitations et celle de température permet de distinguer une période humide et une autre sèche selon la position de la courbe de température par rapport à celle des précipitations mais la durée de chaque période diffère d'une station à une autre. Les stations de Bordj Ghedir et celle de Sidi Aissa connaissent une période humide de 07 mois allant de l'automne jusqu'au début de printemps. La période sèche dure 05 mois restants de l'année ce qui montre un climat plus humide.



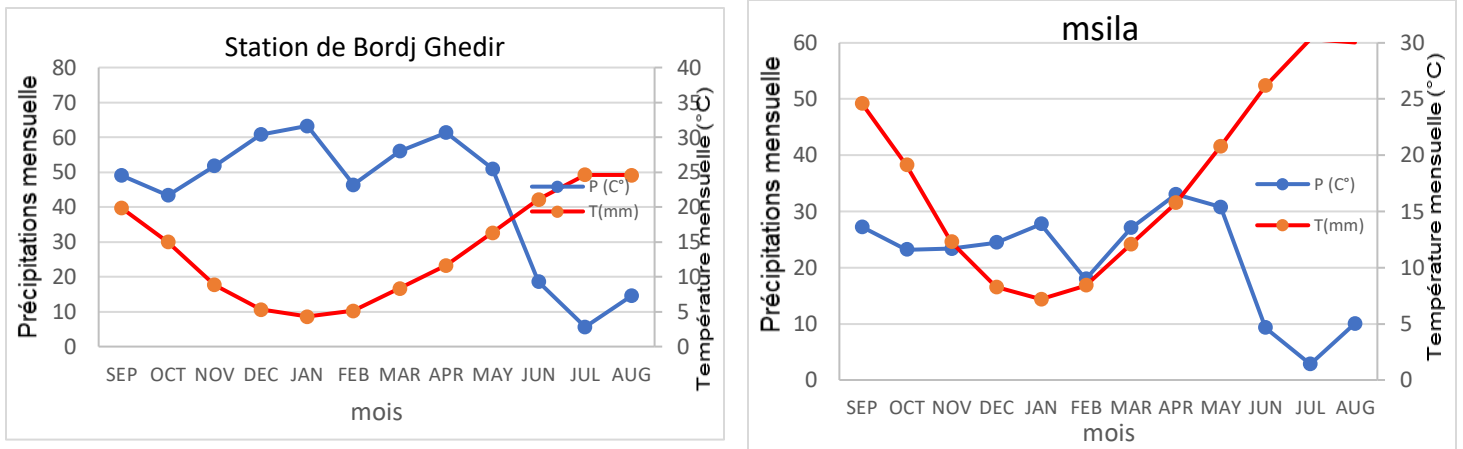


Figure II.7 : Courbes ombrothermiques des stations climatiques étudiées

La période sèche aux stations de M'sila et celle de N'Gaous est plus importante (07 mois) alors que la station de Boussaada connaît une période sèche plus longue de 10 mois au cours de l'année. La période sèche à la station d'Ain El Melh s'étale pratiquement sur toute l'année ce qui montre un climat saharien.

A cet effet, le bassin versant du Chott El Hodna peut être subdivisée en trois zones climatiques différentes :

- Au sud, dans l'Atlas Saharien, où l'altitude est de l'ordre de 800 à 900 m en général, la pluviométrie est moins élevée avec, par contre, des températures élevées en été et plus froides en hiver.
- L'intérieur de la cuvette du Hodna, formé de plaines avec des altitudes comprises entre 400 et 700 m. Le Tell suffisamment élevé au nord isole cette plaine des influences maritimes, mais elle est soumise aux tempêtes de sables desséchantes en raison de l'Atlas Saharien à relief relativement bas (Kebiche, 2017). Le climat de cette partie centrale du bassin du chott El Hodna

est rude (aride), les hivers sont froids avec des périodes de gel et les étés sont très chauds.

- Au nord, dans l'Atlas Tellien qui culmine jusqu'à 1800 m d'altitude au monts de Titteri, le climat est nettement plus arrosé (semi-aride à sub-humide) (la région de Bordj Ghedir et Sidi Aissa) (**Kebiche, 2017**).

II.6 Cadre géologie

A cause de la transition entre le domaine tellien au nord et le Sahara au sud au bassin versant du Chott El Hodna, sa géologie contient aussi une très grande variation de faciès et une tectonique complexe. Le choc frontal entre l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien au niveau des Aurès a engendré une cuvette au début du Miocène, laquelle, à la fin de cette période et pendant le Quaternaire a subi un remplissage par les cours d'eau, constituant une plaine alluviale de Hodna (Grine, 2009). D'après la géologie du bassin du Chott El Hodna (Fig II.8), le quaternaire formé par d'anciennes alluvions et des sédiments fins est très présent dans le bassin versant notamment dans la partie centrale (la plaine alluviale) et au sud du bassin. Le Crétacé moyen affleure à l'ouest du bassin et est formé par des bancs de marnes et de grès avec intercalation de calcaire. Les massifs montagneux au Nord sont composés des formations du Miocène continental, Eocène inférieur marin. Le Jurassique formé par le calcaire n'occupent que des surfaces réduites. Entre les massifs montagneux et la plaine centrale, le piedmont est constitué par de vastes glacis d'érosion parsemés de chebkas (ravins).

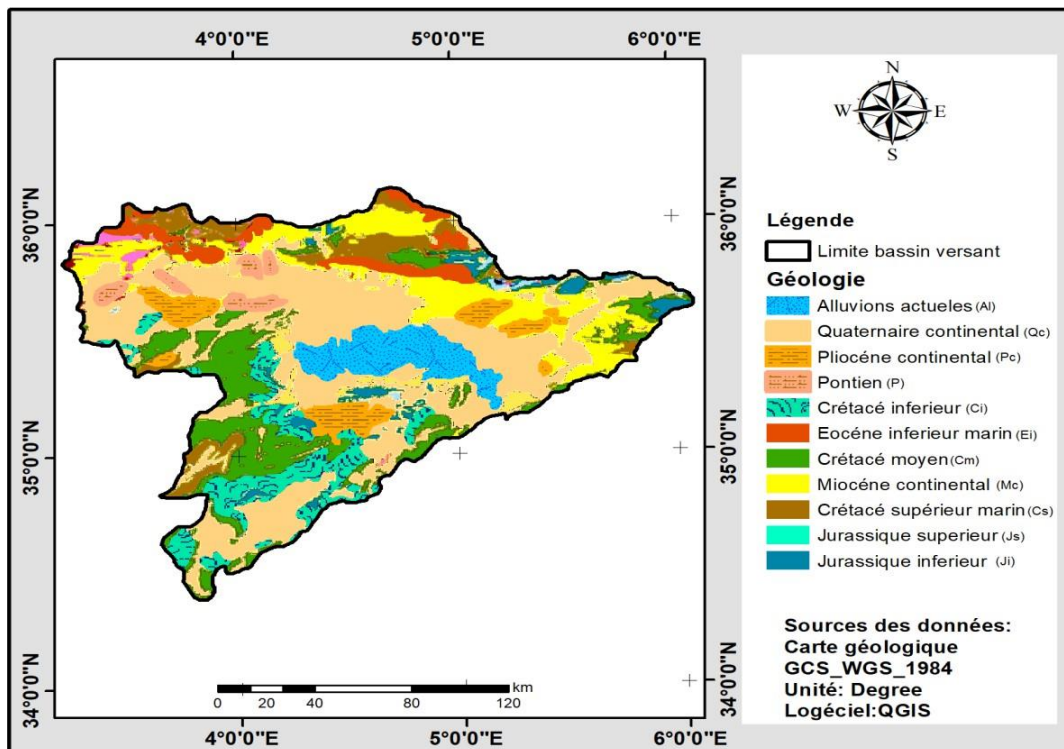


Figure II.8 : Carte géologique du bassin versant de la chott Hodna

II.7 Morphologie des sols

La nature des sols varie en fonction de l'altitude, de la proximité du Chott El Hodna et de la nature des dépôts sédimentaires. Il existe toute une série de sols depuis les sols minéraux bruts jusqu'aux sols halomorphes en passant par les sols peu évolués, les sols calcimagnésiques. Cependant, on distingue :

- **Sols salins et alcalins** : Le Chott entourant la sebkha et la sebkha elle-même porte des sols à accumulation gypso-salines influencés par les dépôts d'évaporation et qui deviennent franchement salines dans la sebkha (NaCl). Ces sols sont pauvres en matière organique et difficiles à cultiver sans une gestion spécifique de l'irrigation et du drainage.
- **Sols argileux** : Dans certaines zones de la plaine, des sols argileux lourds se sont formés à partir de dépôts sédimentaires. Ces sols peuvent être fertiles mais nécessitent une bonne gestion de l'eau pour éviter la saturation.
- **Sols calcaires** : Le calcaire se rencontre dans presque tous les types de sol, au piedmont des montagnes, dans les zones de relief de la partie élevée des plaines du Hodna.
- **Sols alluviaux** : Dans certaines zones proches des oueds (rivières temporaires), des sols alluviaux peuvent être présents, apportant une certaine fertilité, mais ils restent rares dans cette région principalement aride **Bouazza, (1996)**

II.8 Occupation du sol

La carte d'occupation du sol montre la répartition des différents types de couverture terrestre sur la base de l'imagerie satellitaire. La carte est divisée en plusieurs régions codées par couleur, chacune représentant une catégorie distincte de couverture terrestre. Les types de couverture terrestre présentant dans le bassin versant du Chott El Hodna sont :

- **Forêt** : les zones en vert foncé représentent les zones forestières, généralement caractérisées par une couverture végétale dense.
- **Terres cultivées** : les zones en couleur verte claire représentent les terres cultivées, c'est-à-dire les terres utilisées pour la production agricole.
- **Parcours** : ce sont les lieux du pâturage de cheptels.
- **Zones urbaines** : les zones en gris foncée représentent les zones urbaines, qui sont des zones densément peuplées avec des bâtiments et des infrastructures.

- **Terres nues** : les zones beiges représentent des terres nues, c'est-à-dire des terres dépourvues de couverture végétale.
- **Eau** : les zones bleues représentent les plans d'eau, tels que les rivières, les lacs et les réservoirs.

La carte d'occupation des sols réalisée (Fig II.9) montre la dominance des zones de parcours (987 Km² environ) (Tab II.7) ce qui reflète le caractère pastorale de la région.

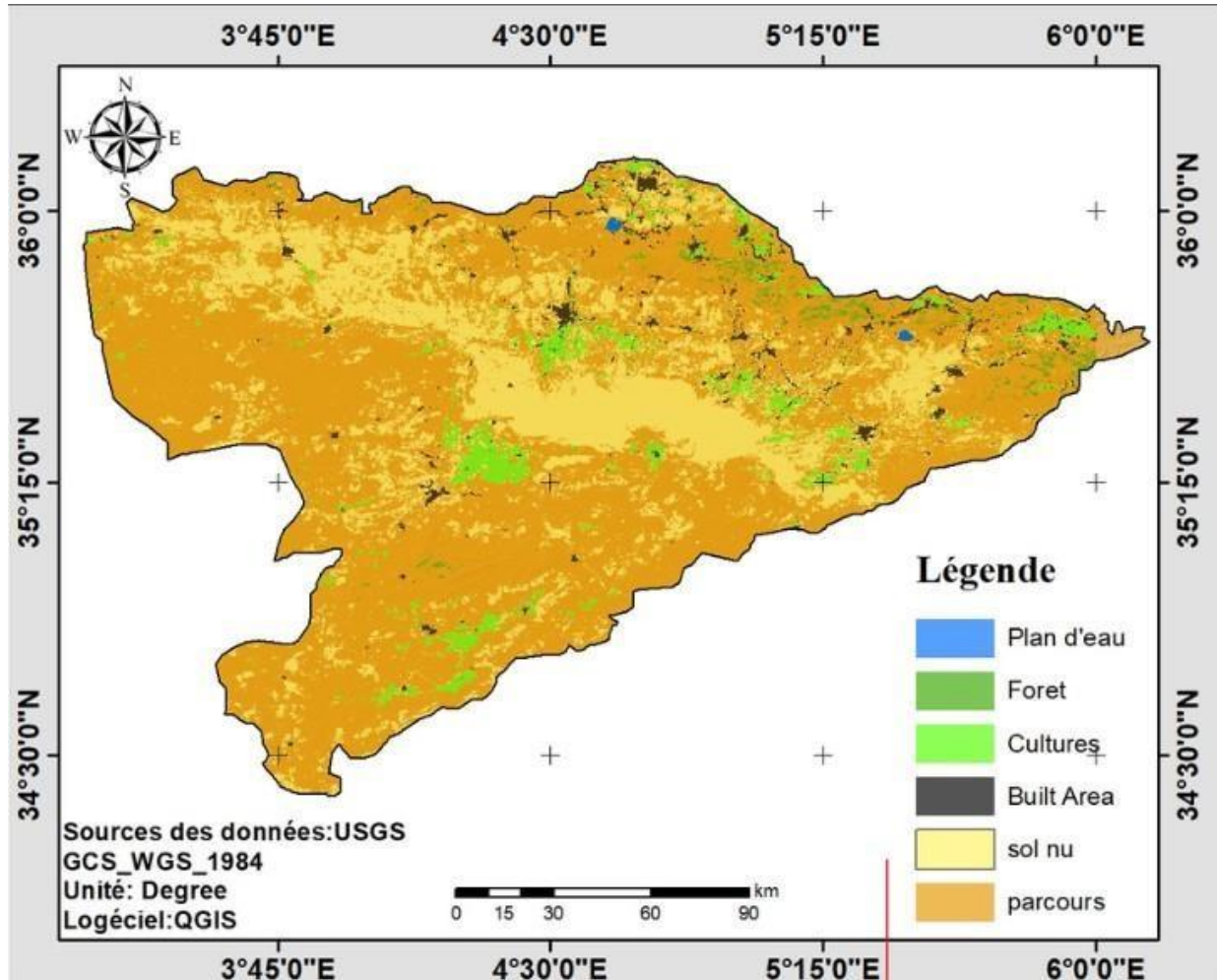


Figure II.9 : Carte d'occupation du sol du bassin versant du chott El Hodna

II.9 Ressources en eau

II.9.1 Ressources en eau superficielles

Les ressources en eau superficielles dans le bassin versant de Chott El Hodna sont estimées à **227,41 Hm³** (Tableau II.8) mobilisées par deux (02) barrages et six (06) retenues collinaires dont leurs caractéristiques sont indiquées au tableau II.19 et figure II.19

Tableau II.3 Caractéristiques des barrages existants dans le bassin versant de chott El Hodna
(Source : DRE, 2024)

| Nom du barrage | Cours d'eau | Coordonnées | | | Date de mise en eau | Capacité initiale (Hm ³) | Apport moyen annuel (m ³) | Destination |
|-----------------|-------------|-------------|-----------|------|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | | Lat. (°) | Long. (°) | Z(m) | | | | |
| K'sob | M'sila | 35°28' N | 4°18' E | 460 | 1976 | 29.5 | 143,74 | Irrigation, contrôle des inondations |
| Soubella | Batna | 35°18 N | 4°88 E | 392 | 1976 | 17.3 | I | Irrigation, contrôle des inondations. |

Tableau II.4 : Retenues collinaires existantes dans le bassin versant de Chott El Hodna
(Source : DRE, 2024)

| Nom de la retenue | Commune | Année de mise en service | Capacité (Hm ³) | |
|---------------------------|-------------|--------------------------|-----------------------------|----------|
| | | | Initiale | Actuelle |
| Oued Chair | Med boudiaf | 2004 | 0,25 | 0,1 |
| Oued Annig | Ain fares | 2005 | 0,04 | 0,03 |
| Ouitléne | Maadhid | 2007 | 0,85 | 0,78 |
| Koudiat khang bou A/allah | Ain Melh | 2009 | 0,3 | 0,26 |
| Bounasroune | Dhahna | 2005 | 0,2 | / |
| El Khaloua | Maadid | 2016 | 0,2 | 0,16 |

II.9.2 Ressources en eau souterraines

A l'échelle hydrogéologiques, les nappes d'eau souterraines dans le bassin versant du chott El Hodna sont réparties comme suit :

- Nappe de chott El Hodna,

- Nappe de Ain Riche,
- Nappe de Zahrez Oriental,
- Nappe de Monts du Hodna
- Nappe de Birin.

La nappe de Chott El Hodna est phréatique dont la minéralisation des eaux augmentent et la salinisation qui était de type Sulfato-Chloruré devient Chloruro-sulfaté et Chloruré.

En raison du caractère endoréique du bassin versant du chott El Hodna, les roches de montagnes rassemble la totalité des sels dissous par les eaux des précipitations et se dirigent vers la partie centrale du chott qui correspond à une cuvette où se concentrent les eaux chargées en chlorures et sulfates (**Boudrissa et al., 2007 ; Albane et al., 2009**).

II.10 L'Agriculture dans le bassin versant du Chott El Hodna

Le bassin versant du Chott El Hodna est reconnu par sa vocation pastorale. Néanmoins l'agriculture connaît un développement remarquable ces dernières années dont l'irrigation des terres agricoles est assuré à partir des eaux souterraines (Forages, puits) et superficielles (Barrages, retenues collinaires) (voir Tab II.10). La surface agricole exploitée est irriguée à partir du grand périmètre irrigué de K'Sob et des petites et moyenne hydraulique (PMH) (Tab II.10).

Tableau II.5 : Surfaces agricoles irrigués dans le bassin versant du Chott El Hodna
(Source DRE, 2024).

| PMH | | GPI | | | | Surface irriguée totale (Ha) |
|--------|-------------------------------|-------|------------------------|-----------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Nombre | Surface irriguée en 2024 (Ha) | Nom | Surface irrigable (Ha) | Surface irriguée (Ha) | Volume alloué 2024(Hm ³) | |
| 27 | 8516 | K'Sob | 2000 | 1230 | 4,4 | 11746 |

Troisième Chapitre :

Collecte et traitement des données

Introduction

L'acquisition et le traitement des données constituent une phase cruciale dans toute étude hydrologique. Ce chapitre présente les différentes données hydrométriques et pluviométriques utilisées, qui sont des variables hydrologiques aléatoires mesurées à des stations soigneusement étudiées.

III.1 Présentation des données

Les données utilisées pour étudier la caractérisation hydrologique des oueds du bassin versant du Chott El Hodna sont de deux natures : des données hydrométriques et des données pluviométriques.

III.1.1 Données hydrométriques

III.1.1.1 Caractéristiques et localisation

Les oueds du bassin versant du Chott El Hodna sont contrôlés par (07) stations hydrométriques implantées à différents endroits aux droits des oueds, dont Trois (03) stations ont été étudiées (Fig III.1). Les données hydrométriques seront utilisées pour connaître le régime des oueds de la chott hodna à l'échelle mensuelle, annuelle à différents endroits.

Ces stations hydrométriques retenues ont été choisies selon :

- ✚ L'emplacement ; ces stations sont situées à l'exutoire des sous bassins versants étudiés (voir Fig III.1). Ainsi, elles ne sont pas influencées par un barrage en amont.
- ✚ La période de fonctionnement ; la plus longue possible avec moins de lacunes

Les données hydrométriques sont de nature débit moyen mensuel en m^3/s . Ces données ont été fournies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) d'Alger.

La localisation et les caractéristiques des stations hydrométriques (le code, les coordonnées et période d'observation) sont mentionnés au tableau III.1 et figure III.1.

Tableau III.1 : Caractéristiques des stations hydrométriques retenues dans le bassin versant du chott El Hodna

| Nom de la station | CODE de la station | Coordonnées | | Sous bassin versant | Durée d'etude |
|---------------------|--------------------|-------------|-----------|---------------------|---------------|
| | | Lat. (°) | Long. (°) | | |
| AIN EL HDJEL | 050301 | 35.7° N | 3.7° E | GUERNINI | 1964 / 1993 |
| TARGA | 050501 | 35°5 N | 4°15 E | TARGA | 1955 / 1993 |
| K'SOB | 050901 | 35°80N | 4°77 E | K'SOB | 1973 / 1993 |

Avec:

Lat : Latitude de la station , **Long** : Longitude de la station.

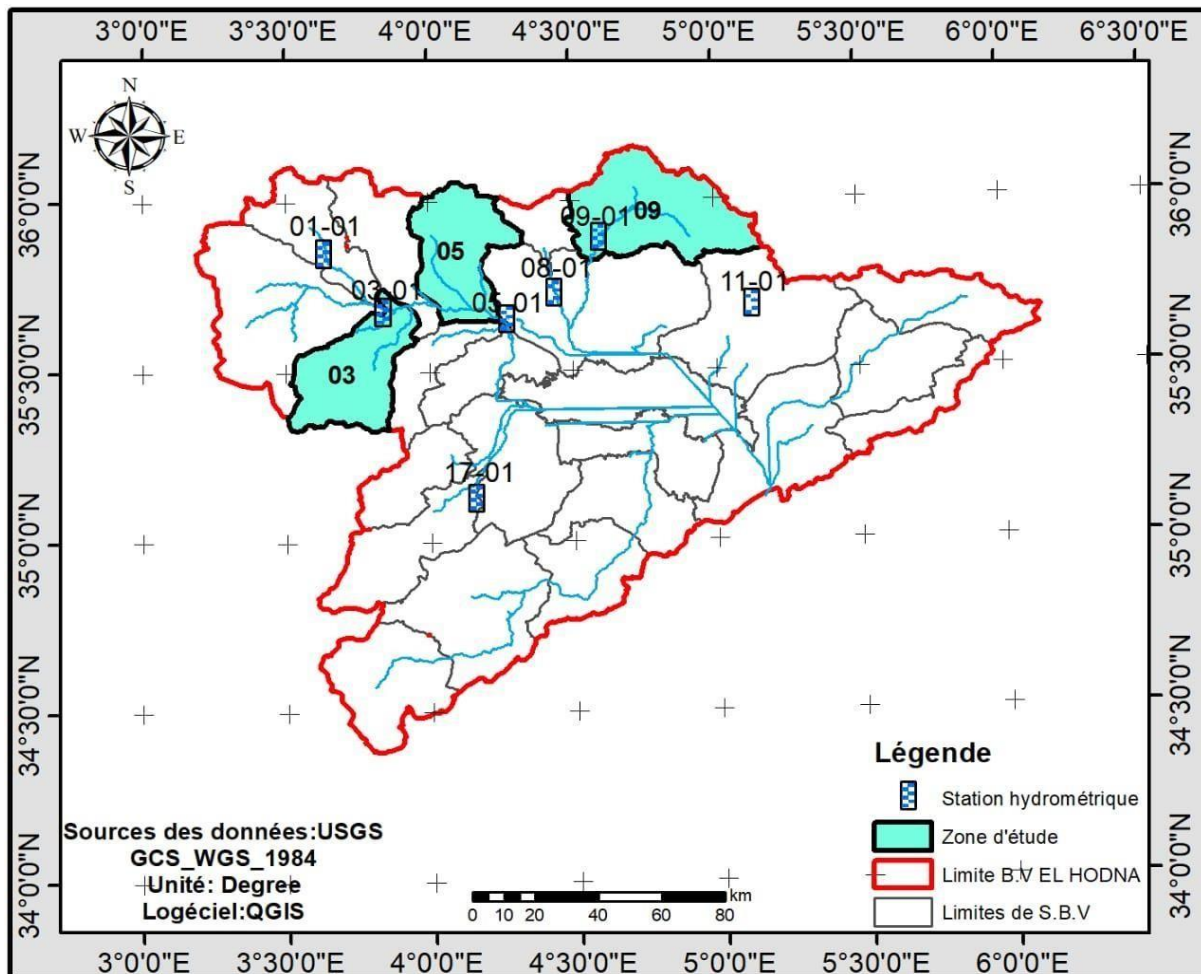


Figure III.1 : Localisation des stations hydrométriques dans le bassin versant de chott hodna

III.1.2 Données pluviométriques

III.1.2.1 Caractéristiques et localisation

Trente-cinq (35) stations pluviométriques couvrent l'ensemble du bassin versant du Chott El Hodna, parmi les quelles trois (03) stations ont été utilisées (Figure III.2). Le choix de ces stations est basé sur :

- ❖ La localisation, dans le sous bassins versant étudié et elle doit être représentatif de la région d'étude.
- ❖ La période de fonctionnement ; la plus longue possible avec moins de lacunes.

Les données collectées sont de nature pluies mensuelles (mm), qui ont été fournies par les services de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) d'Alger. Ces données seront utilisées pour :

- ❖ Etudier le régime pluviométrique du bassin versant du Chott El Hodna à l'échelle mensuelle et annuelle.
- ❖ Comprendre l'influence des précipitations sur l'abondance des oueds étudiés du Chott El Hodna.

La localisation des stations pluviométriques étudiées et leurs caractéristiques sont indiquées au tableau III.2 et figure III.2.

Tableau III.2 : Caractéristiques des stations pluviométriques retenues dans le bassin versant du Chott El Hodna

| NOM de la station | Code de la station | Coordonnées | | Sous Bassin Versant | Période d'étude |
|-------------------|--------------------|-------------|-----------|---------------------|-----------------|
| | | Lat. (°) | Long. (°) | | |
| MEDJEZ | 050901 | 35°88N | 4°75 E | K'SOB | 1973/2013 |
| BENI ILMAN | 050502 | 35°70 N | 4°05 E | TARGA | 2004/2013 |
| AIN EL HADJEL | 050301 | 35.7° N | 6.5° E | GUERNINI | 1989/2019 |

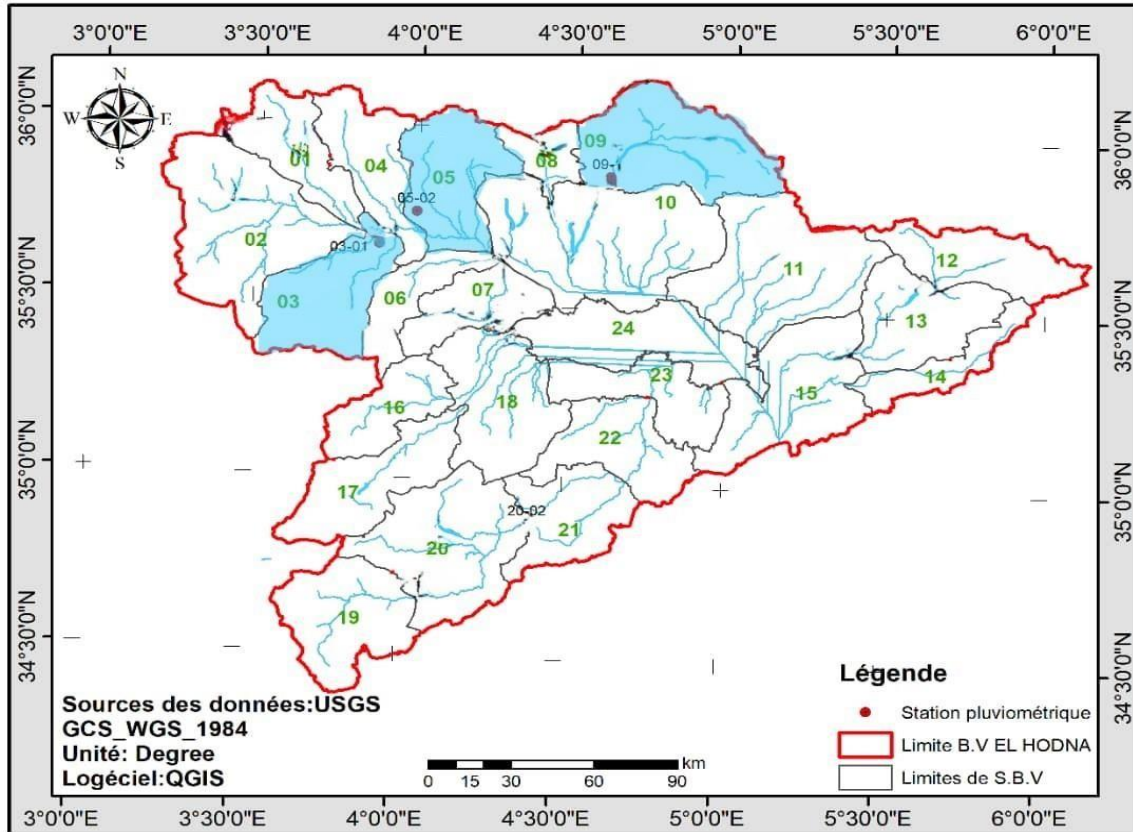


Figure III.2 : Localisation des stations pluviométriques retenues dans le bassin versant du Chott El Hodna

III.2 Traitement des données

Les données hydrologiques (pluviométrie, débit liquide) sont généralement présentées sous forme de séries d'observation consécutives. Elles contiennent souvent des lacunes c'est-à-dire absence de mesure, donc une perte d'information dû soit à :

- ✓ Des évènements pouvant avoir forcé l'interruption de la prise de mesure.
- ✓ Absence de l'observateur
- ✓ Panne de l'appareil.

La présence de plusieurs lacunes et anomalies dans la série des données rend leurs traitements long et fastidieux, notamment si les données sont instantanées, journalières ou mensuelles.

Dans notre cas, les données hydrométriques et pluviométriques collectées contiennent plusieurs lacunes et anomalies ce qui rend leurs traitements nécessaires avant de les utiliser dans les différentes analyses.

III.2.1 Comblement de lacunes

III.2.1.1 Données pluviométriques

Selon le nombre de lacunes à l'échelle inter-mensuelle, la reconstitution de ces données manquantes peut se faire par plusieurs méthodes :

Si le nombre de lacunes est inférieur à trois (03) ; la valeur manquante peut être remplacée par la moyenne inter-mensuelle.

Si le nombre de lacunes est supérieur à trois (03), on utilise l'une de ces méthodes suivantes :

- Remplacement de la donnée manquante par celle observée à la station la plus proche, tout en tenant compte des altitudes des deux (02) stations.
- Établissement d'une régression linéaire entre deux stations voisines pour estimer la donnée manquante.
- Utilisation de la méthode graphique de double masse.

Il est donc nécessaire, avant toute utilisation des variables pluviométriques, de contrôler leur qualité afin de réduire les erreurs systématiques qui pourraient les affecter. Des échantillons homogènes sortent de ce contrôle de qualité (**Dubreuil, 1974**).

III.2.1.2 Données hydrométriques

Le traitement des données hydrométriques ne se fait pas de la même manière comme pour les précipitations. Il est généralement plus pénible, et il ne suit pas les mêmes règles que pour les précipitations.

Si le nombre de lacunes est inférieur à trois (03) ; la valeur manquante peut être remplacée par la moyenne inter-mensuelle.

Au contraire, si le nombre de lacunes est supérieur à trois (03) , la régression linéaire entre cette station et une autre station située sur le même cours d'eau en amont ou en aval est utilisée par l'établissement de l'équation de régression.

Conclusion

L'ensemble des données hydrologiques utilisées dans ce travail a été traité pour utilisations dans les différents calculs hydrologiques.

Quatrième Chapitre :

Etude du régime Hydro-pluviométrique

Introduction

Les facteurs géographiques et climatiques d'un bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement d'un phénomène hydrologique. L'objectif de ce chapitre est d'étudier l'évolution du régime pluviométrique et hydrométrique à l'échelle temporelle et leurs distributions spatiales ainsi que d'évaluer l'impact de la variabilité des précipitations sur les apports liquides des oueds du Chott El Hodna.

IV.1 Etude du régime pluviométrique

IV.1.1 Choix des séries pluviométriques et leurs périodes d'étude

Les trois (03) stations pluviométriques retenues au chapitre précédent ont été utilisées dans l'étude du régime pluviométrique dont leurs périodes d'étude diffèrent d'une station à une autre.

IV.1.2 Distribution interannuelle et annuelle des précipitations

La distribution spatiale et temporelle des précipitations des stations pluviométriques retenues est donnée au tableau IV.1 suivant

Tableau IV.1 : Caractéristiques des séries pluviométrique annuelles dans le bassin versant du Chott El Hodna

| Code | Z(m) | Période d'étude | \bar{x} | σ | Cv | PMax (mm) | Année | PMin (mm) | Année | PMax/PMin |
|-------|------|-----------------|-----------|----------|------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|
| 50502 | 820 | 1989/2014 | 278,1 | 109,3 | 0,39 | 643,4 | 2007 | 126,6 | 1993 | 5,1 |
| 50301 | 545 | | 206,6 | 54,2 | 0,30 | 295,5 | 2009 | 112,7 | 1992 | 2,6 |
| 50901 | 636 | 1973/2014 | 231,4 | 61,7 | 0,26 | 366,2 | 2003 | 129,3 | 1983 | 2,8 |

Avec : Z : Altitude de la station pluviométrique (m).

\bar{x} : Moyenne de la série pluviométrique considérée

σ : L'écart type. Cv : Coefficient de variation. PMax : Précipitation annuelle maximale(mm).

PMin : Précipitation annuelle minimale (mm).

PMax/PMin : Coefficient d'irrégularité du régime pluviométrique.

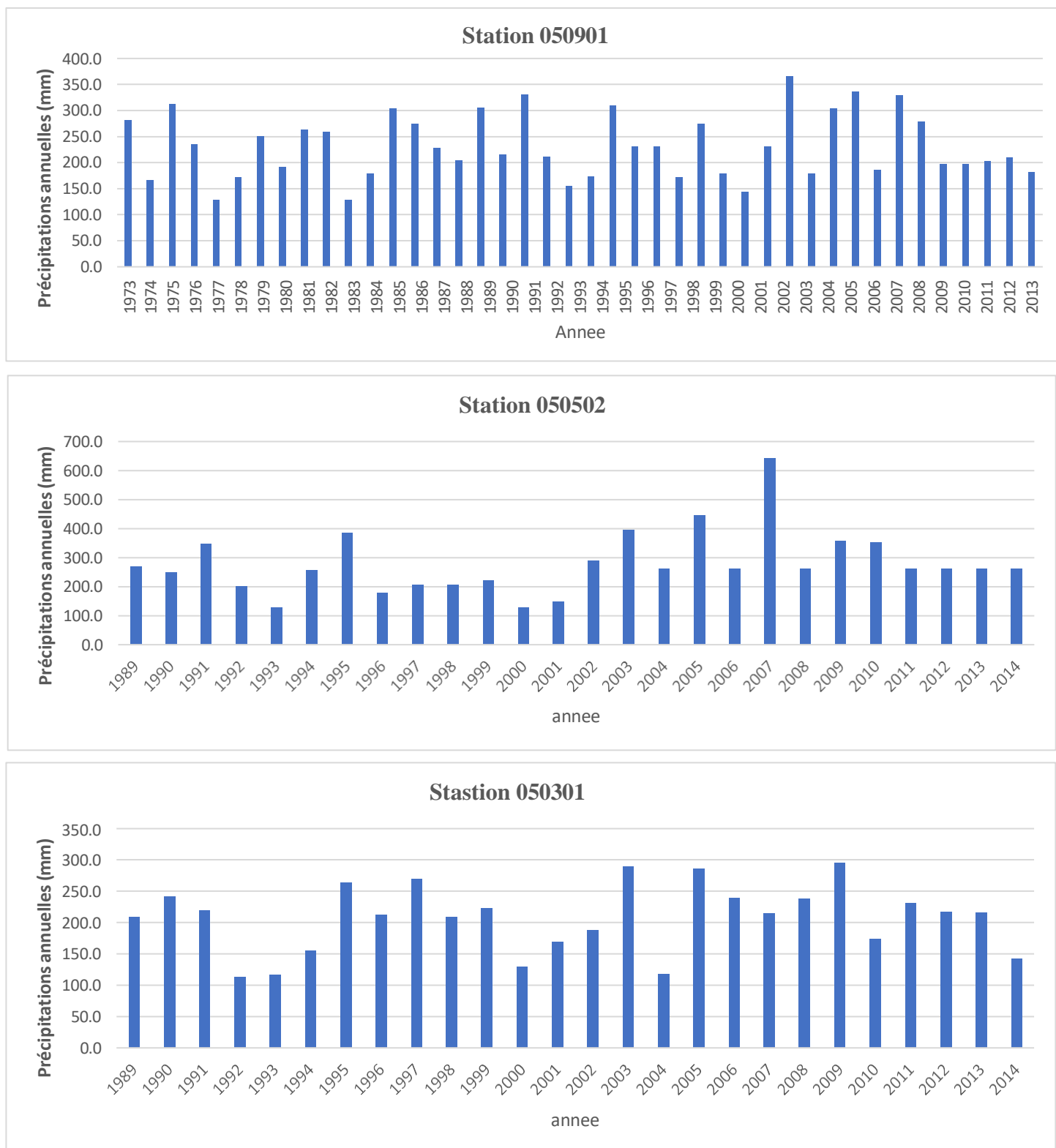


Figure IV.1 : Précipitation moyenne annuelle enregistrées aux stations pluviométriques étudiées du bassin versant du Chott El Hodna

- ✓ A la station de M'djaz (050901), le maximum pluviométrique annuel enregistré est 366 mm en 2003 alors que le minimum de 129,3mm est atteint à l'Année de 1983
- ✓ A la station Beni Yelman (050502), l'année 2007 enregistre un maximum de précipitations (643 mm) durant la période d'étude, et que le minimum de 126 mm est atteint à l'Année de 1993 et 2000.
- ✓ A la station de Ain Hdjal (050301), l'année 2009 enregistre un maximum de précipitations (295 mm), et que le minimum de 112 mm est atteint à l'Année de 1992.

Après avoir calculé les paramètres statistiques des pluies annuelles pour chaque station (tableau IV.1), il ressort que :

- ☞ Le coefficient de variation des précipitations annuelles varie entre 24% et 39%.
- ☞ Le coefficient d'irrégularité du régime pluviométrique est traduit par l'écart entre la pluie maximale et minimale. Il varie entre 2,6 (50301) et 6,4 (50901)

A cet effet, les trois (03) postes pluviométriques étudiés connaissent une période humide de maximum de précipitations à partir de l'année 2007 qui a atteint 643 mm environ à 050502. Au contraire, les années 1992 ont enregistré des valeurs les plus faibles (112mm). Ainsi, les précipitations dans les sous bassins versants étudiés connaissent une irrégularité remarquable (Tab IV.1) ($C_v \geq 0.3$, grand écart entre P_{max} et P_{min}).

IV.13 Distribution mensuelle et régime saisonnier des précipitations

La répartition mensuelle des précipitations et leurs variations au cours de l'année hydrologique conditionnent l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau. Les moyennes pluviométriques mensuelles et saisonnières ainsi que leurs caractéristiques statistiques sont données au tableau IV.2 et graphe IV.2.

Tableau IV.2 Précipitations moyennes mensuelles et saisonnières au niveau des stations étudiées

| Code | Caractéristiques | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil | Août | Automne | Hiver | Printemps | Eté |
|-------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------------|-------|-------------|------|
| 50502 | σ | 33,7 | 31,2 | 19,2 | 34,1 | 29,4 | 24,1 | 28,9 | 29,7 | 27,6 | 10,5 | 11,9 | 10,4 | 84,1 | 87,7 | 86,2 | 32,8 |
| | \bar{x} | 33,4 | 13,1 | 21,5 | 21,1 | 30,1 | 20,0 | 34,5 | 27,9 | 31,6 | 10,3 | 2,3 | 10,6 | 68,0 | 71,2 | 94,0 | 23,1 |
| | Cv | 1,0 | 2,4 | 0,9 | 1,6 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 5,2 | 1,0 | 4,3 | 3,8 | 2,8 | 7,2 |
| 50301 | σ | 23,3 | 21,5 | 11,2 | 10,5 | 15,9 | 14,3 | 14,9 | 16,9 | 23,1 | 12,8 | 5,4 | 12,9 | 56,0 | 40,7 | 54,9 | 31,0 |
| | \bar{x} | 28,1 | 25,3 | 17,3 | 19,9 | 18,0 | 14,0 | 16,6 | 22,3 | 22,6 | 11,4 | 4,1 | 8,0 | 70,8 | 51,9 | 61,5 | 23,6 |
| | Cv | 0,8 | 0,9 | 0,6 | 0,5 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 2,3 | 2,4 | 2,7 | 4,0 |
| 50901 | σ | 27,6 | 20,4 | 16,5 | 15,7 | 17,5 | 14,3 | 17,2 | 19,2 | 24,1 | 10,0 | 10,4 | 7,9 | 27,6 | 20,4 | 16,5 | 15,7 |
| | \bar{x} | 26,8 | 22,4 | 25,5 | 21,1 | 19,1 | 18,9 | 22,5 | 26,0 | 27,6 | 10,4 | 4,1 | 6,9 | 26,8 | 22,4 | 25,5 | 21,1 |
| | Cv | 1,0 | 0,9 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 2,5 | 1,1 | 1,0 | 0,9 | 0,6 | 0,7 |

Avec :

\bar{x} : Moyenne de la série pluviométrique considérée

σ : L'écart type

Cv : Coefficient de variation

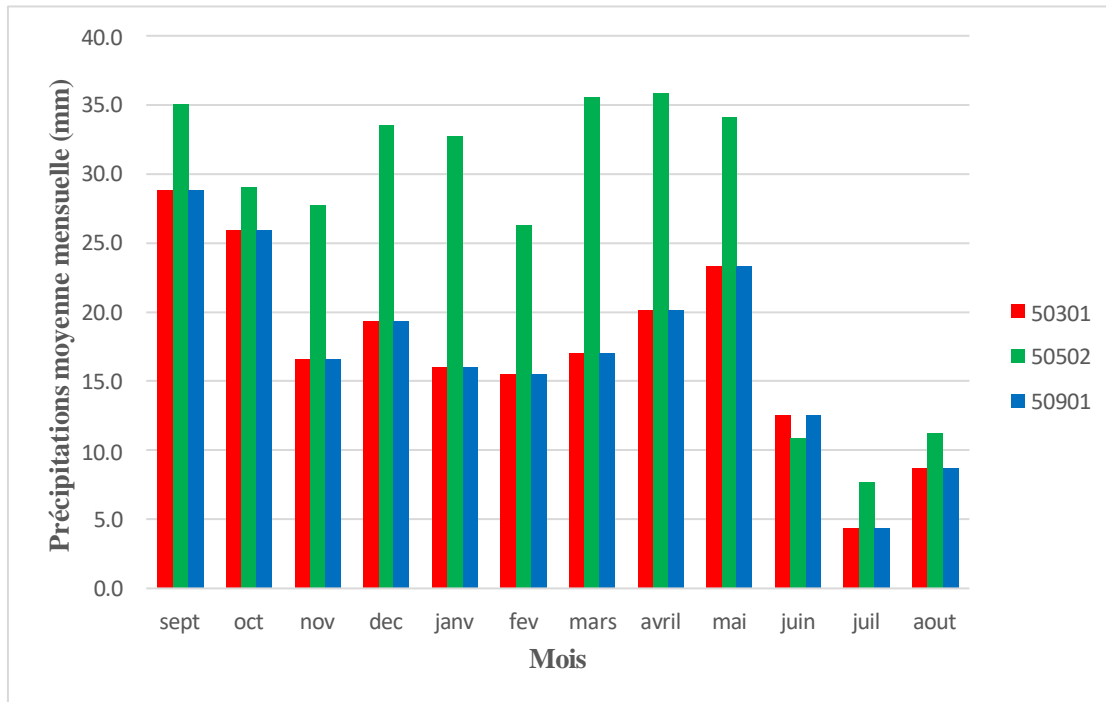


Figure IV.2 : Précipitations moyennes mensuelles des stations étudiées du bassin versant du chott El Hodna

D'après la figure IV.2, il ressort que la station 050502 enregistre des cumuls de précipitations mensuels les plus grands par rapport aux deux autres stations.

D'après les résultats du tableau IV.2, il a été remarqué que :

- ☞ Le mois le plus pluvieux diffère d'une station à une autre .
- ☞ Le mois le plus sec est enregistré en période estivale, plus précisément au mois de Juillet.
- ☞ Le coefficient de variation Cv augmente en saison d'été et diminue au reste des mois de l'année.
- ☞ Le maximum de pluviométrie est enregistré en saison de printemps au niveau des stations de 050502 et 050901 alors que le maximum à la station de 050301 est enregistré en Automne.

Après avoir calculé le cumul de précipitations de chaque saison et pour chaque station (tableau IV.2), un "Indicatif saisonnier" est établi par un classement de dominance pluviométrique saisonnier d'ordre décroissant année par année. L'indicatif saisonnier le plus élevé (qui se répète) est considéré comme dominant dans la région.

Le régime saisonnier des précipitations enregistrées est indiqué dans le tableau IV.3.

Tableau IV.3 : Régime saisonnier des précipitations dans le bassin versant du Chott El Hodna

| Code station | Régime saisonnier | Pourcentage de dominance |
|--------------|-------------------|--------------------------|
| 50502 | PHAE | 25% |
| 50301 | PAHE | 26% |
| 50901 | PAHE | 26% |

Avec:

H : Hiver , A : Automne , P : Printemps , E : Eté

L'analyse des résultats du tableau IV.3 montre que :

- La saison de printemps est la plus pluvieuse pour les trois (03) stations pluviométriques étudiées ce qui donne lieu à deux (02) régimes saisonnier :
 - PAHE pour les deux (02) stations 50901 et 50301.
 - PHAE à la station de 50502.

Ces résultats permettent de conclure que la variation de distribution des précipitations est plus importante (remarquable) en saison d'été. La moyenne mensuelle des précipitations traduit clairement les variations mensuelles et saisonnières de distribution des précipitations en fonction du coefficient de variation.

IV2 Etude du régime hydrométrique

La répartition saisonnière des précipitations et leurs variations au cours de l'année hydrologique conditionnent l'écoulement saisonnier et par conséquent le régime des cours d'eau.

IV21 Choix des séries hydrométriques et leurs périodes d'étude

Les trois (03) stations hydrométriques retenues au chapitre précédent ont été utilisées dont. Les trois (03) ne sont plus opérationnelle depuis l'année 1993.

IV22 Variation des Débit moyens annuels et interannuels

La distribution des Débit moyens annuels et interannuels ainsi que leurs répartitions statistiques sont indiquées au tableau IV.4.

Tableau IV.4: Caractéristiques hydrométriques des oueds étudiés du Chott El Hodna au droits des stations hydrométriques

| Station | Oued | Période d'étude | Q _{moy} (m ³ /s) | Cv | Q _{max} (m ³ /s) | | Q _{min} (m ³ /s) | | Nbre d'année >Q _{moy} | R |
|---------|----------|-----------------|--------------------------------------|-----|--------------------------------------|-------|--------------------------------------|-------|--------------------------------|------|
| | | | | | Valeur | Année | Valeur | Année | | |
| 50501 | Targa | 1973/1993 | 1,13 | 1,3 | 6,5 | 1985 | 0,2 | 1980 | 5/21 | 32,5 |
| 50301 | B. aroug | 1973 / 1993 | 0,58 | 1,4 | 3,02 | 1981 | 0,01 | 1992 | 3/21 | 302 |
| 50901 | K'SOB | 1973/1993 | 0,83 | 0,5 | 1,7 | 1975 | 0,2 | 1983 | 7/21 | 8,6 |

Avec

:

Q_{moy} : le débit moyen interannuel (m³/s) ; **Cv** : Coefficient de variation ; **Q_{max}** : le débit maximum annuel (m³/s) ; **Q_{min}** : le débit minimum annuel (m³/s) ; **R** : Coefficient d'immodération.

Les résultats du tableau IV.4 montrent que :

☞ Parmi les Oueds étudiés du Chott El Hodna , l'oued B.aroug au droit de la station hydrométrique 050301 est le plus important avec débit moyen annuel de l'ordre de 1,4 m³/s.

☞ Le oued de B.aroug au droit de la station hydrométrique 050301, produisent les plus faibles Débit liquides (0,58 Hm³)

☞ L'ensemble des Oueds de la Chott hodna au droit des stations hydrométriques étudiées sont irréguliers (Cv > 0,5)

Cette variabilité dans l'ensemble est liée essentiellement à l'alimentation pluviale irrégulière des cours d'eau et l'écart entre l'débit maximum et minimum au cours de la période d'observation

IV23 Distribution des apports moyens mensuels et leurs caractéristiques statistiques

L'analyse des apports moyens mensuels permet de mettre en évidence les régimes des cours d'eau et leurs variations interannuels ou inter-saisonniers (Hebal, 2011)

IV24 .1 Coefficient mensuel de débits (CMD)

La variation saisonnière du régime des cours d'eau peut être traduite par le coefficient mensuel de débits (CMD) .

La répartition mensuelle des débits moyens mensuels est récapitulée dans le tableau IV.12.

| Station 050301 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Annuel |
| Moy | 1,0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 2,1 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,1 | 1,8 | 0,6 |
| CMD | 0,6 | 1,8 | 5,9 | 2,9 | 2,6 | 1,7 | 0,3 | 2,3 | 1,4 | 2,9 | 4,3 | 0,3 | |
| Max | 10,68 | 2,71 | 0,67 | 1,24 | 1,72 | 2,60 | 32,23 | 1,87 | 3,40 | 1,79 | 1,32 | 32,23 | 3,02 |
| Min | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,001 |
| σ | 2,5 | 0,6 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 7,2 | 0,5 | 0,9 | 0,4 | 0,3 | 7,4 | 0,9 |
| CV | 2,4 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 2,0 | 1,9 | 3,4 | 2,0 | 2,3 | 2,1 | 2,6 | 4,1 | 1,5 |

| Station 050501 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Annuel |
| Moy | 1,67 | 1,78 | 3,64 | 0,37 | 0,45 | 0,39 | 1,13 | 0,51 | 0,82 | 1,38 | 0,21 | 1,21 | 1,13 |
| CMD | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 3,1 | 2,5 | 2,9 | 1,0 | 2,2 | 1,4 | 0,8 | 5,5 | 0,9 | |
| Max | 10,91 | 13,43 | 59,99 | 1,605 | 3,67 | 2,909 | 12,3 | 3,06 | 5,904 | 13,21 | 2,06 | 12,22 | 6,521 |
| Min | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,07 | 0,05 | 0,01 | 0,15 |
| σ | 3,2 | 3,8 | 13,0 | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 2,7 | 0,7 | 1,5 | 3,7 | 0,4 | 2,9 | 1,4 |
| CV | 1,9 | 2,1 | 3,6 | 1,3 | 1,9 | 1,6 | 2,4 | 1,5 | 1,9 | 2,7 | 2,1 | 2,4 | 1,3 |

| Station 050901 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| | Sep | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Annuel |
| Moy | 1,04 | 0,76 | 0,88 | 0,80 | 0,88 | 1,05 | 1,26 | 1,13 | 0,68 | 0,83 | 0,37 | 0,27 | 0,83 |
| CMD | 0,8 | 1,1 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 1,2 | 1,0 | 2,3 | 3,1 | |
| Max | 3,73 | 4,40 | 9,70 | 8,97 | 8,77 | 9,87 | 9,96 | 9,54 | 9,89 | 9,99 | 9,79 | 9,45 | 9,28 |
| Min | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,06 | 0,20 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,22 |
| σ | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 0,8 | 1,5 | 1,2 | 1,6 | 1,4 | 0,7 | 1,2 | 0,5 | 0,2 | 0,4 |
| CV | 1,0 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,7 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,1 | 1,4 | 1,3 | 0,9 | 0,5 |

Tableau IV.12 : Répartition des débits moyens mensuels (m³/s) et leurs caractéristiques statistiques

D'après les résultats du tableau IV.12, il ressort que :

☞ Le coefficient mensuel des débits fluctue entre des mois de hautes eaux et ceux de basses eaux

☞ La période de hautes eaux comporte des mois humides ($CMD > 1$) et des mois relativement secs ($CMD < 1$)

☞ L'année hydrologique pour l'ensemble des sous bassins versants comporte une période humide de hautes eaux et une période de basses eaux

☞ Le maximum mensuel diffère d'un oued à un autre ; trois 03 stations hydrométriques enregistrent un maximum d'Débit liquide en saison de printemps plus précisément en mois de mars et février .

Ces résultats permettent de conclure que :

✓ Le maximum des débits liquides des différents Oueds étudiés de la chott hodna est observé en saison de printemps (enregistré par deux 02 stations hydrométriques en novembre et janvier mars)

Interpretation

Le régime hydrologique du Hodna est lié au régime pluviométrique caractérisé par de fortes irrégularités. La majorité des cours d'eau n'ont pas de débits pérennes, à l'exception des oueds Lougmane, El Ham, K'sob, Selmane, Berhoum, Soubella alimentés par des sources et retenus par des « ceds » (ou retenues) traditionnels. A cela se rajoute une multitude de petits cours d'eau (Chaaba) à sec pratiquement toute l'année et qui coulent lors des chutes de pluies

Benabderrahmane.A,1988

Les eaux de la nappe superficielle ont une salinité modérée à très élevée, compte tenu du type de salinisation elles sont sulfato-chloruree dans la partie -Est. Le résidu sec de la nappe varie de 0,5 à 280 g/l, le type de salinisation change dans la partie basse du bassin, les eaux dans la plaine sont sulfato-chloruree avec quelques lentilles sulfatées **Hadjab,1998**

Le chott El Hodna s'agrandit chaque année au détriment des terres jugées de bonne qualité qui l'entourent, cela est dû à la combinaison de deux phénomènes . Le comblement par des crues apporte avec elles des sédiments fins qui à leur arrivée sur la surface du chott sont

très peu ou pas salées, elles le deviennent rapidement par le processus de concentration de sel par évaporation . Aussi l'apport solide, en comblant peu à peu le chott, augmente sa superficie.

Benabderrahmane.A,1988

Mobiliser les ressources en eau de surface en construisant des retenues, éviter les pertes qui se produisent sous forme de crues, tel est l'objectif de toute étude hydrologique. Bien que les valeurs des écoulements que nous avons avancées ne constituent qu'une approche de la réalité du terrain, il n'en demeure pas moins que ces ressources sont loin d'être négligeables. En témoignent les fortes crues que connaissent certains oueds tels que le Ksob ou l'Oued El Leham. Il est donc nécessaire de rechercher des sites éventuels propres à la construction de barrages réservoirs sur les cours d'eau du nord notamment. L'oued Ksob offre des sites qui correspondent aux normes exigées. Le site de Zeranzia situé à 30 km au nord-est de M'sila possède des appuis composés de calcaire et de marnes dures du Crétacé supérieur. Le calcaire constitue environ 60 % de l'ensemble. Le site de Medjez est situé à environ 2,5 km en amont du barrage actuel du Ksob. A cet endroit, le lit de l'oued fait environ 60 m de large. La roche de fond est surtout composée de calcaires massifs. L'oued Soubella offre à son débouché sur le piedmont et à hauteur de Aïn El Hammam un site favorable à la construction d'un barrage. Les écoulements observés sur cet oued montrent qu'on peut profiter d'une certaine pérennité, même en été, grâce à d'importantes sources qui l'alimentent

KEBICHE M. (1986),

Conclusion générale

Conclusion générale & recommandations

Au terme de ce travail, qui s'inscrit dans le domaine de la caractérisation hydrologique de quelques sous bassins versants du grand bassin de Chott El Hodna , nous pensons avoir fourni une étude synthétique des précipitations et des débits liquides de quelques oueds du Chott El Hodna en prenant en compte le maximum de l'information disponible dans le but d'une gestion quantitative et rationnelle de la ressource en eau .

L'analyse détaillée du milieu physique et les données utilisées permet de tirer les résultats suivants :

1. Caractéristiques de la zone d'étude ; Le bassin versant endoréique du Chott El Hodna est limité entre le domaine tellien au nord et le domaine saharien au sud. Il est soumis au climat semi-aride au nord et le climat saharien au sud. Il est composé de vingt-quatre (24) sous bassins. Trois (03) sous bassins versants ont été étudiés ; K'sob, Targa et celui de B. aroug dont leurs forme est allongée ($Kc > 1$). A l'échelle géologique le quaternaire est très présent dans le bassin versant notamment dans la partie centrale (la plaine alluviale) et au sud du bassin. Le Crétacé moyen affleure à l'ouest du bassin et est formé par des bans de marnes et de grès avec intercalation de calcaire. Les terrains du bassin versant sont généralement dénudés ou bien occupés par des cultures de parcours, ce qui reflète le caractère pastorale de la région.

2. Pluviométrie et débit liquide :

Les données pluviométriques et hydrométriques constituent le noyau de base de ce travail dont leurs acquisitions et leurs traitements est une tâche très longue et fastidieuse.

L'analyse des données hydro-pluviométrique a mis en évidence :

- ❖ **Pluviométrie:** Trois (03) stations pluviométriques ont été étudiées dont les précipitations moyenne annuelle sont de l'ordre de 250 mm qui est caractéristique du milieu semi-aride. Les précipitations dans les sous bassins versants étudiés connaissent une irrégularité ($Cv \geq 0.3$, grand écart entre P_{max} et P_{min}). Le maximum de précipitations à été observé à partir de l'année 2000. Au contraire, les années quatre-vingt-dix ont enregistré des valeurs les plus faibles. La saison de printemps est la plus pluvieuse ce qui donne lieu à deux (02) régimes saisonnier PAHE, PHAE.

❖ **débit liquide:** Les données hydrométriques de trois (03) stations situées à l'exutoire des sous bassins versants ont été étudiées. L'oued Targa au droit de la station hydrométrique 050501 est le plus important avec un débit moyen annuel de l'ordre de 1,13 m³/s. Alors que oued B.aroug au droit de la station hydrométrique 050301, produit le plus faible débit liquide (0,58 m³/s). L'ensemble des Oueds étudiés sont irréguliers ($C_v \geq 0,5$) qui est dû essentiellement à l'alimentation pluviale irrégulière des cours d'eau et l'écart entre le débit maximum et minimum au cours de la période d'observation. Les oueds étudiés n'ont pas de débits pérennes, à l'exception des oueds de K'sob et Targa dont l'écoulement se maintient même en période estivale. Ces oueds sont alimentés par des sources. La nature géologique qui est généralement perméable (massifs de calcaire) favorise l'infiltration de l'eau. Ajoutant à cela, le terrain qui est dénudé ou occupé par des cultures de parcours pour le pâturage qui permet aux fortes crues à apporter avec elles des sédiments fins. L'écoulement des oueds du Chott El Hodna est à l'origine de la violence des crues. Bien que celles-ci soient très brèves, elles sont très spectaculaires et parfois même calamiteuses comme l'Oued El K'sob (**Kebiche, 1993**).

Dans le souci de préserver la ressource en eau et lui assurer une gestion rationnelle et durable, il est souhaitable de prendre les recommandations suivantes :

- ✓ Implantation d'un nouveau réseau pluviométrique qui couvre la totalité du bassin versant du Chott El Hodna vue l'immense surface du bassin versant et son hétérogénéité spatiale.
- ✓ Remettre en service les stations hydrométriques à l'arrêt depuis 1993 et veiller à améliorer la qualité des données hydrométriques.
- ✓ Réalisation de nouveaux ouvrages de mobilisation des ressources en eau superficielles (petits barrages et retenues collinaires) surtout dans les régions agricoles (les plaines).
- ✓ Encourager les agriculteurs à utiliser la ressource en eau superficielle dans l'irrigation tout en contrôlant sa qualité.
- ✓ Il est essentiel d'assurer un suivi continu de l'évolution spatio-temporelle des différentes composantes hydrologiques du cycle de l'eau, en tenant compte à la fois des aspects quantitatifs et qualitatifs. Il convient également de comparer les changements du cycle de l'eau aux besoins en eau actuels afin de déterminer la ressource en eau sous ces deux angles, quantitatif et qualitatif.

Références bibliographiques

- Albane, L. (2009).** Écologie et occupation spatio-temporelle de l'avifaune aquatique du Chott El-Hodna. *Thèse d'ingénieur*, Université de M'Sila, 23 p.
- Aubert, G. (1976).** Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales INA El Harrach*, 6 p.
- Bagnouls, F., & Gaussen, H. (1953).** Saison sèche et indice xérothermique. *Documentation Cartes Production Végétale. Série : Généralités*, 3(1), article 8, 47 p. + 1 carte.
- Bensaci, M. D., & Bouziane, M. A. E. (2018).** Contribution à l'évaluation de l'évapotranspiration de référence en Algérie.
- Bonnet, M. (1970).** Calcul automatique des bilans d'eau mensuels et annuels par les méthodes de Thornthwaite et de Turc. *BRGM*, Paris, 21 p.
- Boudrissa, A. (2005).** Étude des facteurs de risque de transmission de la leishmaniose cutanée zoonotique : Cas du foyer de Chott El Hodna. *Mémoire de magistère*, Université Oum El Bouaghi, 146 p.
- Boudrissa, S. (2007).** Cartographie écologique de la leishmaniose cutanée zoonotique dans le bassin du Hodna (Algérie). *Mémoire d'ingénieur*, Département de biologie, Université de M'Sila, 70 p.
- Boumezbeur, A. (2002).** Atlas des 26 zones humides algériennes d'importance internationale. *Direction Générale des Forêts*, 89 p.
- CFM. (2009).** Fiche descriptive sur les zones humides : Chott El Hodna. *Direction Générale des Forêts*, 25 p.
- Chaponnière, A. (2005).** Fonctionnement hydrologique d'un bassin versant montagneux semi-aride : Cas du bassin versant du Rehraya (Haut Atlas marocain). *Thèse de doctorat*, Institut National Agronomique Paris-Grignon, France, 179 p.
- Cosandey, C., & Robinson, M. (2012).** Hydrologie continentale. *Armand Colin*, Paris, 447 p.
- Dajoz, R. (1972).** Précis d'écologie. *Éditions Bordas*, Paris, 503 p.
- Debbakh, A. (2012).** Qualité et dynamique des eaux des systèmes lacustres en amont de l'Oued Righ.
- Derekoy, A. M. (1967).** Hydrogéologie du bassin du Chott El Hodna : Essai de synthèse des connaissances actuelles. *Projet F.A.O. Algérie*.
- Dubreuil, P. (1974).** Initiation à l'analyse hydrologique : Dix exercices suivis des corrigés. *Masson*.
- Emberger, J. (1960).** Esquisse géologique de la partie orientale des monts des Ouleds Naïl. *Éditions INA*, 399 p.
- GIEC. (2007).** Bilan des changements climatiques : 1er au 4e rapport d'évaluation du GIEC. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 25 p.
- Gounot, M. (1969).** Méthodes d'étude quantitative de la végétation. *Éditions Masson*, 314 p.

- Grine, R. (2009).** Les perspectives hydrogéologiques de la cuvette hodnéenne. *Mémoire de magistère*, Université des Sciences et Technologies Houari Boumediene (USTHB), Alger, 140 p.
- Guiraud, R. (1969).** Les traits principaux de l'hydrogéologie du bassin du Chott El Hodna (Algérie du Nord). *Publications du Service Géologique de l'Algérie*, Ministère de l'Industrie et de l'Énergie, Direction des Mines et de la Géologie, Service Géologique, Bulletin N° 39.
- Hadj-Said, S. (2008).** Contribution à l'étude hydrogéologique d'un aquifère en zone côtière : Cas de la nappe de Guerbes. *Thèse de doctorat*, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 215 p.
- Jean, M., & Franco, P. (1995).** *Documents phytosociologiques*, 15, 394-401.
- Kaabeche, M. (1990).** Les groupements végétaux de la région de Boussaâda (Algérie) : Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. *Thèse de doctorat*, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay, 104 p.
- Makhlouf, N. (2015).** Cours sur le cycle hydrologique. *Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene*, Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du Territoire, 176 p.
- Mimoune, S. (1995).** Gestion des sols sableux et désertiques dans une cuvette endoréique d'Algérie (Sud du Chott El Hodna). *Thèse de doctorat*, Université Aix-Marseille I, 209 p.
- Musy, A., & Higy, C. (1998).** Hydrologie appliquée. *Éditions HGA*, Bucarest, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 365 p.
- Musy, A., & Higy, C. (2003).** Hydrologie. 1ère édition. Lausanne.
- Musy, A., & Higy, C. (2004).** Hydrologie. 2e édition. Lausanne.
- Ozenda, P. (1982).** Les végétaux dans la biosphère. *Éditions Doin*, Paris, 431 p.
- Pare, S. (2006).** Contribution à la détermination d'un terme du bilan hydrologique dans la région d'Errachidia-Tafilalet : Évaluation de l'évapotranspiration de référence et de l'évaporation à travers la zone non saturée de la plaine de Tafilalet. *Période p. 24-42*.
- Roche, M. (1963).** Hydrologie de surface. *Office de la recherche scientifique et technique outre-mer*, Paris, 430 p.
- Saad Allah, S. (2018).** Travaux pratiques du cours d'hydrogéologie : Cycle hydrologique et bilans en eau d'un bassin. *Université de Liège*, 7 p.
- Savernin, J. (1920).** Étude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien. *Imprimerie Nationale*, 502 p.
- Seltzer, P. (1946).** Le climat de l'Algérie. *Imprimerie La Typo-Litho et J. Carbonel*, Alger, 219 p.
- Toubal, O. (1986).** Phytoécologie, biogéographie et dynamique des principaux groupements végétaux du massif de l'Edough (Algérie Nord-Orientale). *Thèse de doctorat de 3e cycle*, Université des Sciences et Techniques de Grenoble, 111 p.