

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Université de Ghardaïa



Faculté des Sciences et Technologies

Département d'hydraulique et génie civil

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme

De MASTER

THEME

Etude Hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de la
région de METLILI (Wilaya de Ghardaia)

Présenté par:

Ahmed Hamel

Said Hanichi

Directeur de Mémoire :

Mr Salim Boubelli

Année Universitaire : 2019-2020

Remerciements

Ce travail est l'aboutissement d'un dur labeur et de beaucoup d'efforts ; nos remerciements vont d'abord au Créateur de l'univers qui nous a doté d'intelligence, et nous a maintenu en santé pour mener à bien cette étude. Je tiens aussi à adresser mes remerciements à ma famille, et plus précisément à ma mère qui m'a toujours soutenu et pousser à continuer mes études. Ce présent travail a pu voir le jour grâce à son soutien.

Nos remerciements vont aussi à l'encontre de notre directeur de Mémoire Mr Salim Boubelli qui malgré son temps difficile nous a aidé à travers ses remarques pertinentes.

Enfin , nous remercions le personnel du Laboratoire de l'ADE qui nous ont aidé pour la réalisation des mesures physico-chimiques.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à : mes parents Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

A mon frère et mes sœurs, à toute ma famille, et mes amis , à mon binôme Saïd. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Ahmed

Résumé :

La ville de Metlili située au sud de l'Algérie, est une région de la wilaya de Ghardaïa, connue comme une zone palmeraie et agricole. L'approvisionnement en eau de la population dépend principalement des ressources en eaux souterraines de la couche continentale intercalaire. La pollution de la nappe phréatique et le développement récent de l'irrigation et l'agriculture dans la région ont conduit à l'utilisation croissante de l'eau du continental intercalaire. L'hydrogéologie de Metlili caractérisé par deux nappes, la nappe phréatique (Turonien) a 40 m et la nappe continental intercalaire (Albien) a 280 m. Les caractéristiques hydrochimique de la nappe CI de la zone d'étude montre des eau sulfatée calcique et magnésienne, la minéralisation des eaux sont moyenne, ces eaux sont douce favorable a l'agriculture. La consommation est élevée dans les dernière Années conduire à chute de pression de la nappe dans certain forage.

Mots-clés: Metlili, Eaux souterraines, continental intercalaire, Hydrogéologie, Hydrochimie.

Abstract:

The city of Metlili exists in the South of Algeria, It is a region of the state of Ghardaïa, know as a forester and agricultural zone. The water supply of the population depends mainly on the groundwater resources of the intermediate continent layer. The pollution of the aquifer and the recent development of irrigation and agriculture in the region have led to the increasing use of intercalary continental water. The Hydrogeology of Metlili characterized, by two layers, the aquifer (Turonian) at 40 m and the continental aquifer (Albien) at 280 m .The hydrochemical characteristics of the study area show sulfated calcium and magnesium water, the mineralization of the waters is average; these waters are mildly favorable to agriculture. The consumption is higher in the last years lead to fall of the pressure of the water table in some drilling.

Keywords: Metlili, Groundwater, intercalary continental, Hydrogeology, Hydrochemical.

ملخص:

تتواجد مدينة متليلي في الجنوب الجزائري و هي منطقة في ولاية غرداية، وتعرف على أنها منطقة غابية و زراعية. يعتمد إمداد السكان بالمياه بشكل أساسي على موارد المياه الجوفية لطبقة المتداخل القاري. أدى تلوث المياه السطحية و التطور الأخير للسقي و للزراعة في المنطقة إلى الاستخدام المتزايد لمياه المتداخل القاري. الطبقات الهيدروجيولوجية في متليلي تمتاز بطبقتين، طبقة المياه الجوفية السطحية(ترونية)بعمق 40 م والطبقة القارية (ألبين) على عمق 280 م . الخصائص الهيدروكيميائية لمياه المتداخل القاري أظهرت مياه ذات طبيعتين ,مياه يغلب عليه الكبريت و الكالسيوم و أخرى يغلب عليها الكبريت و المغنيزيوم، كما أن درجة التمعدين المياه فيها متوسط وهذا يجعل هذه المياه ملائمة للزراعة وسقي الغابات.الاستهلاك المرتفع للغاية في السنوات الأخيرة أدى إلى انخفاض مستوى المياه الجوفية في بعض الآبار .

الكلمات المفتاحية:متليلي، المياه الجوفية ، المتداخل القاري ، الهيدروجيولوجيا ،الهيدروكيمياء.

SOMMAIRE

| | |
|---|-----------|
| Remerciements | I |
| Dédicace.... | II |
| Résumé | III |
| Sommaire | III |
| Liste des tableaux | V |
| Liste des Figures | VI |
| Liste des abréviations | VII |
| Chapitre I : Milieu physique | |
| Introduction | 1 |
| I.1.Situation Géographique | 4 |
| II.2- Situation géographique de la commune de Metlili | 4 |
| I.2.Les principaux constituants du milieu naturel | 5 |
| I.3.Contexte Géologique de la région de Metlili | 6 |
| 1.3.1.Géologie régionale | 6 |
| I.3.2.La géologie locale | 7 |
| 1.4.La géomorphologie | 7 |
| 1.5.Occupation du sol | 7 |
| I-5.1. Structure des exploitations agricoles | 10 |
| I-5.1.1 Le système oasien de l'ancienne palmeraie | 10 |
| I-5.1.2 La mise en valeur | 11 |
| I.6.Climat de Metlili | 11 |
| I.6.1. Les températures | 12 |
| I.6.2. Les précipitations | 13 |
| a)Précipitations annuelles | 13 |
| b) les précipitation mensuelles | 14 |
| 1.6.3.L'Humidité | 15 |
| I.6.4. L'évaporation | 15 |
| 1.6.5.Le vent | 16 |
| 1.6.6.L'insolation | 17 |
| 1.7.Diagramme ombrothermique de Gaussen $P = 2T$ | 18 |
| 1.8.Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa | 19 |
| Conclusion | 20 |
| CHAPITRE II ETUDE | |
| HYDROLOGIQUE | |

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 22 |
| II.1 .La réserve du CT | 22 |
| II.2 .La nappe continentale intercalaire (CI) | 23 |
| II.3.Limites du Continental Intercalaire | 24 |
| II.4. La réserve du Continental Intercalaire | 25 |
| II.4.1 Le toit du CI (Albien) | 25 |
| II.4.2 Profondeur du CI (albien) | 27 |
| II.5. Evolution piézométrique de Continental Intercalaire de la zone d'étude | 28 |
| II.6. Le système aquifère de Sahara septentrional (SASS) | 28 |
| II.7. Présentation de système aquifère de la région de Metlili | 31 |
| II.7.1.Les nappes superficielles (phréatiques) | 31 |
| II.7.2. Les nappes alluvionnaires | 31 |
| II.8. Alimentation des nappes superficielles | 32 |
| II.9.Piézométrie des nappes phréatiques de la région de Metlili | 32 |
| II.10. La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la région de Metlili | 33 |
| II.11 Exutoire des Aquifères | 33 |
| II.12.Le réseau hydrographique | 33 |
| II.13Le bassin versant de l'oued Metlili | 34 |
| II.14.Alimentation – Ecoulement | 35 |
| II.15. LES FORAGES (Foggaras) dans la région de METLILI | 35 |
| Conclusion | 37 |
| Chapitre III Etude Physico-chimique | |
| Introduction | 39 |
| III.1.Analyses Physico-chimiques des eaux de la nappe Albienne | 39 |
| III.2.Méthode de prélèvement et conservation des échantillons | 40 |
| III.3. Normes Algérienne des eaux potables | 40 |
| III.4. Qualités organoleptiques | 40 |
| III.4.1 La Couleur | 40 |
| III.4.2. L'Odeur | 41 |
| III.4.3. Le Goût | 41 |
| III.5. Qualité physique | 41 |
| III.5.1.Température de l'eau | 41 |
| III.5.2. Le potentiel d'hydrogène (pH) | 42 |
| III.5.3.Conductivité électrique | 42 |
| III.5.4. Salinité TDS | 42 |
| III.5.5 Turbidité | 42 |
| III.6. Paramètres de pollution des eaux de la nappe | 43 |

| | |
|---|-----------|
| III.6.1. Les nitrites | 43 |
| III.6.2. Les phosphates | 43 |
| III.6.3. Nitrates | 43 |
| III.7. Mineralisation globale | 43 |
| III.7.1. Les cations | 43 |
| III.7.2. Les anions | 44 |
| III.8. Les paramètres indésirables | 46 |
| III.9. Renforcement de nos résultats obtenus par 16 autres analyses | 46 |
| III.10. Classification des eaux de la région de Metlili | 50 |
| III.10.1. Classification de STABLER | 51 |
| III.10.2. Diagramme de Piper | 52 |
| III.11. Qualité des eaux de la nappe | 53 |
| du CI selon les normes de l’OMS et les normes | 53 |
| III.12. Le Fluorure | 54 |
| III.12.1. Définition | 54 |
| III.12.2. Sources | 54 |
| III.12.3. Normes pour le fluor | 55 |
| III.12.4. Le taux de fluorure dans la Wilaya de Ghardaïa | 55 |
| III.12.5. La fluorose | 55 |
| III.12.6. Les méthodes de défluoruration | 56 |
| III.12.6.1. Les méthodes classiques | 56 |
| a) Elimination Par Précipitation (I) | 56 |
| b) Par coagulation Flocculation (Technique de Nalgonda) | 57 |
| c) Elimination des fluorures par échange d’ions | 57 |
| d) Elimination des fluorures par Adsorption | 58 |
| e) Elimination des fluorures par Adsorption sur alumine activée | 58 |
| III.12.6.2. Les nouvelles techniques | 59 |
| a) Les techniques à membrane comprenant | 59 |
| b) Les procédés électrochimiques | 59 |
| c) Couplage des deux méthodes électrochimiques | 61 |
| Conclusion | 62 |
| Conclusion Générale | 64 |
| Références | |
| Bibliographiques | 66 |

Liste des tables :

Tableau 1 : Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maxima et des minima pour les dix ans (2008-2018) dans la région de METLILI.

Tableau. 02 : Précipitations moyennes annuelle de Ghardaïa (1998- 2018).

Tableau.03 : Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (1998- 2018).

Tableau.04 : Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

Tableau.05 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018).

Tableau.06 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents.

Tableau.07: durée mensuelle de l'insolation totale (heures/mois) station ONM Ghardaïa (Période 1998/2018).

Tableau.08: données de diagramme ombrothermique.

Tableau .09 : Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa dans la période (1998-2018).

Tableau.10 : Volume d'eau du Continental intercalaire .

Tableau.11 : Nombre des forages et volumes d'exploitation de la zone d'étude

Tableau 12 : Normes algérienne de potabilité des eaux.

Tableau. 13 : Analyses physico chimique de 16 forages de la region de METLILI. Labo ADE 2018

Tableau.14 : Analyses physico chimique de 16 forages de la region de METLILI. Labo ADE 2018

Tableau.15: Comparaison entre l'eau de la région de Metlili et celle de la région de Ghardaïa et la réglementation nationale et de l'OMS.

Tableau.16 : Pourcentage d'habitants atteints de fluorose dentaire au sud algérien D'après l'INSP (Aroua, 2011)

Liste des Figures :

Figure. 1 : Localisation géographique de la région de METLILI

Figure.2: Coupe géologique et schématique de la vallée du Mzab (source ANRH).

Figure.03 : Carte géologique de la région de Ghardaia .

Figure. 04: Carte géomorphologique de la région Ghardaïa.

Figure. 05 : Carte occupation du sol de la région de Metlili (logiciel surfer).

Figure.6 : Graphe des variations des Températures Mensuelle de la région METLILI

Figure.07 : La précipitation moyenne mensuelle de la région de Ghardaïa (1998/2008).

Figure.08: L'Humidité moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (1998/2008).

Figure.09 : L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa.

Figure.10: Les vitesses moyennes mensuelles des vents.

Figure.11: L'insolation mensuelle de la région de Ghardaïa.

Figure.12 : Diagramme Ombrothermique $P = 2T$ de la région de Ghardaïa (1998-2018).

Figure.13 : Carte des épaisseurs du CT (OSS, 2003b)

Figure.14: Carte du toit du Continental Intercalaire dans la région METLILI

Figure.15: Carte de la profondeur du Continental Intercalaire dans la région de METLILI.

Figure.16 : Carte piézométrique de la nappe du CI dans la région du Metlili.

Figure.17 : Carte des limites du complexe terminal et du continental intercalaire en Algérie, modifiée a partir de la carte (OSS ,2003).

Figure.18 : Les formations géologiques et les aquifères du bassin du SASS (OSS, 2003)

Figure.19 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée de l'oued M'Zab.

Figure.20 : Réseau hydrographique de METLILI.

Figure.21: Bassin versant de l'oued METLILI.

Figure 22: Inventaire des forages d'eau au Nord la région de METLILI.

Figure.23 : Qualité physique des eaux de la nappe

Figure.24: Paramètres de pollution des eaux de la nappe (Mai 2018).

Figure.25 : La qualité des eaux vis-à-vis les cations (Mai 2018).

Figure.26: La qualité des eaux vis-à-vis les anions (Mai 2018).

Figure.27 : La qualité des eaux vis-à-vis le Fer (Mai 2018).

Figure.28: Facies chimique des eaux de l'aquifère ancien région Metlili selon le diagramme de STABLER

Figure.29 : Facies chimique des eaux de l'aquifère ancien région Metlili selon le diagramme de PIPPER

Figure.30: Pourcentage des éléments chimiques de la région de metili

Figure.31: schématisation de l'électrophorèse

Figure.32 : Schématisation de l'électro-sorption

Figure.33: procédé de fluoruration avec couplage L'électrolyse bipolaire+ L'électro-sorption

Liste des abréviations :

AEP : Alimentation en Eau Potable.

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydriques

CI : Continental Intercalaire.

CT : Complexe Terminal.

DA : Déficit Agricole.

DPAT : Direction de la planification et de l'Aménagement du Territoire.

ERESS : Etude de ressources en eau dans le Sahara septentrional.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

ETR : Evapotranspiration réelle.

OMS : Organisation Mondiale de la Sante.

ONM : Office National de la Météorologie.

OSS : Observation du Sahara et du Sahel.

SASS : Système Aquifère du Sahara Septentrional.

ADE : Algérienne Des Eaux

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

L'eau, l'une des plus importantes ressources naturelles, à l'instar des pays de la rive Sud du bassin méditerranéen, l'Algérie, pays à climat essentiellement semi-aride à aride dans la majeure partie de son territoire, est confronté au problème du développement et de la gestion durable de ses ressources en eau. En effet, bien que disposant d'importantes chaînes de montagnes, d'une large ouverture maritime et par une grande disparité géographique, ces ressources en eau sont limitées vis à vis d'une forte demande qui résulte de la croissance démographique, de l'amélioration des conditions de vie, du développement des différentes industries et de l'extension de l'irrigation.

Le Grand Sahara Algérien renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines qui ne peuvent être expliquées par le climat actuel et qui sont à la base du développement agricole et urbain dans cette zone. Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (BURDON, 1977 ; MARGAT & SAAD, 1982 et 1984 ; MARGAT, 1990), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du Quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène (PIZZI et SARTOLI, 1984).

Pour d'autres, par contre, il existe une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies (DUBIEF, 1953). Avec un ciel clair, quasiment sans nébulosité, le Sahara est avant tout "le pays du Soleil".

Les régions arides renferment d'importantes réserves en eau souterraine dont la qualité est dans la plupart des cas médiocre. Dans de telles régions où règnent des conditions climatiques dures, le renouvellement des nappes est soumis aux aléas du climat.

Les eaux souterraines jouent un rôle très important dans l'alimentation en eau potable des habitants de la région ainsi que dans l'irrigation et l'industrie. Pour une meilleure gestion de ces eaux, il est indispensable de caractériser les aquifères et connaître les modalités de l'écoulement ainsi que la

qualité chimique de ses eaux. Notre méthodologie de travail consiste à cerner l'étude géologique de la région puis prélever des échantillons d'eau pour des analyses physico-chimiques.

Les résultats obtenus serviront à tracer les différentes cartes et de les interpréter. L'objectif principal de ce travail consiste à synthétiser et actualiser les informations hydrogéologiques du système aquifère de la région de METLILI.

Aussi étudier la chimie des eaux de l'ensemble aquifère ancien de la région de METLILI (GUERDAIA).

Cette étude s'articule autour des chapitres suivant : introduction générale;

Chapitre 1 : Milieu Physique- Présentation de la zone d'étude: en donnant la situation géographique et géomorphologique; les données climatiques et la géologie de la région.

Chapitre 2 : Etude hydrologique de la zone d'étude : Définition de l'aquifère existant dans la région, et déterminer les sources d'alimentation, l'exutoire, inventaire des forages, et hydrographie de la région de METLILI.

Chapitre 3:Physico-chimie des eaux : basée sur l'analyse chimique réalisée sur les échantillons d'eau prélevés pour déterminé les facies chimique des eaux.

Nous avons finis notre travaille par une Conclusion générale.

CHAPITRE 1

MILIEU PHYSIQUE

I.1.Situation Géographique

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara algérien. A environ 600 Km au sud de la capitale du pays, Alger. Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- Longitude 3° 45' Est. La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86.560 km², elle est limitée:
 - au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
 - au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
 - à l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km) ;
 - au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1.470Km) ;
 - au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
 - à l'Ouest par la Wilaya d'el-Bayadh (350 Km).

La wilaya comporte actuellement 11 communes regroupées en 8 Daïras pour une population de 396.452 habitants, soit une densité de 4,68 habitants/ km² (D.P.A.T., 2009).

II.2- Situation géographique de la commune de Metlili : Metlili est une commune de la wilaya de Ghardaïa, située à 40 km de chef-lieu de la wilaya.

Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude 455 m.
- Latitude 32° 16' Nord.
- Longitude 03° 38' Est.

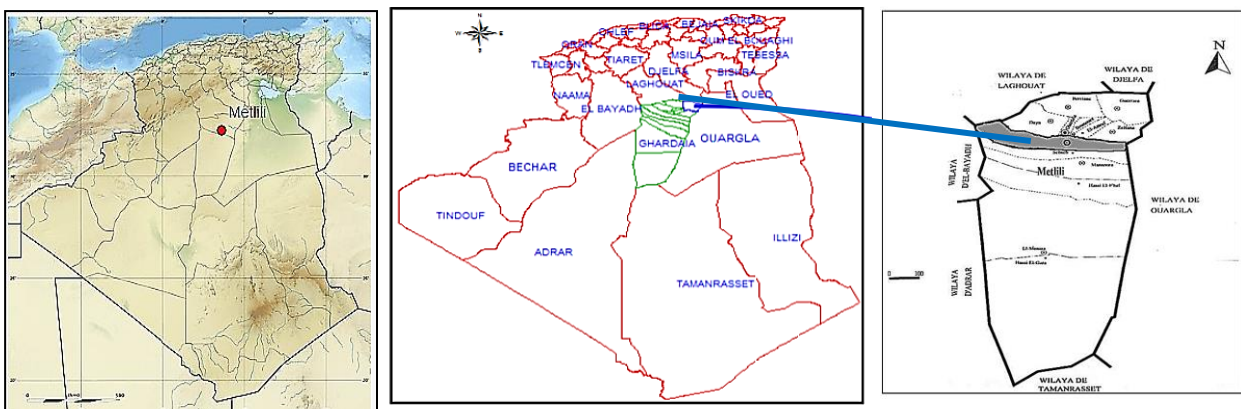


Figure. 1 : Localisation géographique de la région de METLILI

La commune de Metlili couvre une superficie de 7300km², elle est limitée : Au Nord par la wilaya d'El Bayadh et les communes de Bounoura, El Atteuf et Zelfana ;

Au Sud par la commune de Sebseb ;

A l'Est par la wilaya d'Ouargla ; A l'Ouest par la Wilaya d'El Bayadh.

La population de la commune de Metlili est estimée à 43.030 habitants, le tissu urbain de la ville est construit par des pôles d'évolution où la ville est en voie de saturation (D.P.A.T, 2009).

En 1984, la commune de Metlili est constituée à partir des localités suivantes:

Centre de Metlili, Noumerat ,Guemgouma, El Hadika, Souani, Chabet Sidi Cheikh, Souareg, et Chouiket Est.

I.2. Les principaux constituants du milieu naturel :

La commune de Metlili fait partie du massif jurassique des Monts de Metlili qui lui-même fait partie intégrante de la Chabka du Mzab. De ce fait, l'espace de la commune est très contrasté. Elle est caractérisée par des plaines dans le continental Terminal et des régions ensablées. La Chebka et l'ensemble de la région centrale s'étend du Nord au Sud sur environ 450 km et d'Est en Ouest sur environ 200 km.

L'appartenance au milieu saharien aride contrait fortement l'occupation de l'espace. L'implantation de la ville s'est faite par rapport au grands axes de circulation et aux oasis et leur développement a été étroitement lié aux conditions naturelles (eau, climat, relief...) Le couvert végétal est pauvre.

La structure et la nature du sol ne sont pas favorables à l'existence d'une flore naturelle riche. La végétation existante est concentrée dans les lits d'oueds (D.P.A.T ,2009).

I.3.Contexte Géologique de la région de Metlili:

1.3.1. Géologie régionale :

La wilaya de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. Les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur. Composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

Du point de vue lithologique. Les affleurements sont de type (Figure 13) ; - Argiles verdâtres et bariolées à l'Ouest et le Sud-ouest attribués au Cénomaniens. En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental. - Calcaires massifs durs ; blanc grisâtre au centre. Attribués au Turonien. - Calcaires marneux et argiles gypseuses à l'Est. Attribués au Sénonien. - Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène. - Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds.

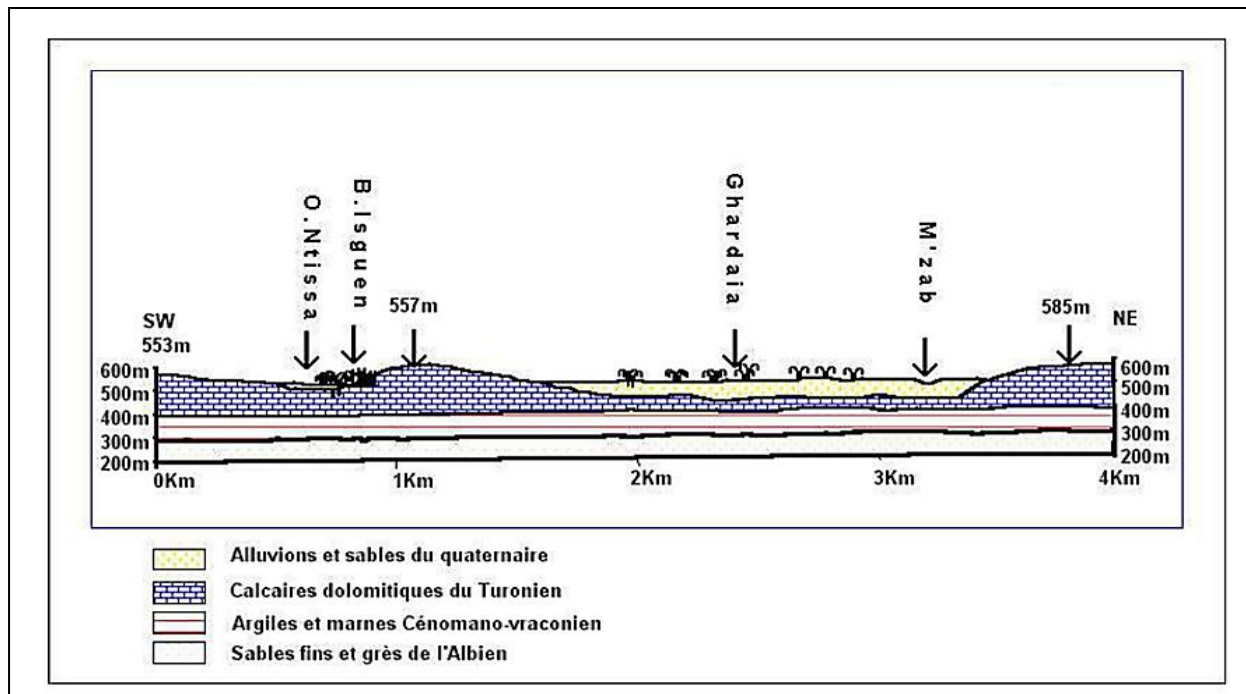


Figure.2: Coupe géologique et schématique de la vallée du Mzab (source ANRH).

I.3.2.La géologie locale :

La zone d'étude présente à l'affleurement d'une succession de formations géologiques allant du Turonien. Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart de la vallée de l'oued de Metlili. Quaternaire : Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond de la vallée de l'oued d'une épaisseur de 20 à 35 mètres.

1-Turonien : Il est composé par des calcaires blancs, des marnes grisâtres et rougeâtres au sommet, blancs, grisâtre plus ou moins dur à marnes jaunâtres.

2- Cénomanién : Le Cénomanién est composé par des argiles bariolées, marrons et grises à verdâtres plastiquées, à anhydrites, sableuse à la base avec la présence de gypse.

3- Albien : Il est composé de sables fins à moyens jaunâtres parfois rougeâtres à rose. Des intercalations d'argiles verdâtres à vertes sont fréquentés.

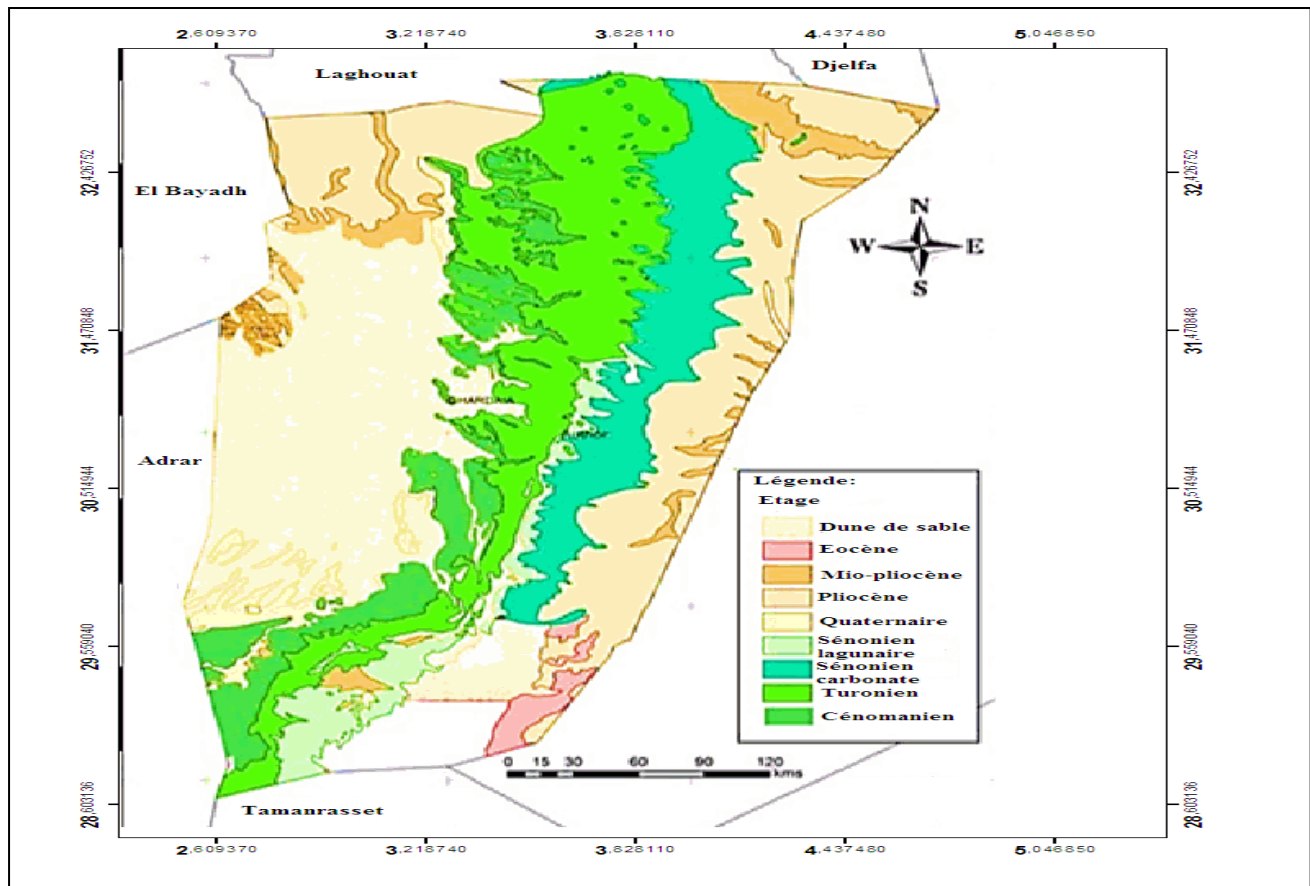


Figure.3:Carte géologique de la région de Ghardaia .

1.4. La géomorphologie :

La région de Metlili est caractérisée par un relief très accidenté formé par un réseau serré de ravines séparées par des crêtes ou des croupes. Les ravins sont sous l’actions de l’érosion pluviale au début du quaternaire.

Les ravins les plus profonds ont donné naissance aux grands oueds comme le cas de la vallée de Metlili, taillée en roche dure, laissant apparaître un escarpement en pente très forte qui domine les fonds plats de l’Oued, qui abrite toute au long de ses berges des palmeraies en plein développement.

La région de la Chebka est caractérisée par un important réseau hydrographique, mais il est à sec pendant presque toute l’année ; cela est dû à la faiblesse et l’irrégularité des précipitations. Mais cela n’exclut pas des possibilités de crues importantes tous les 3 à 5 ans (Ouledmire, 2000).

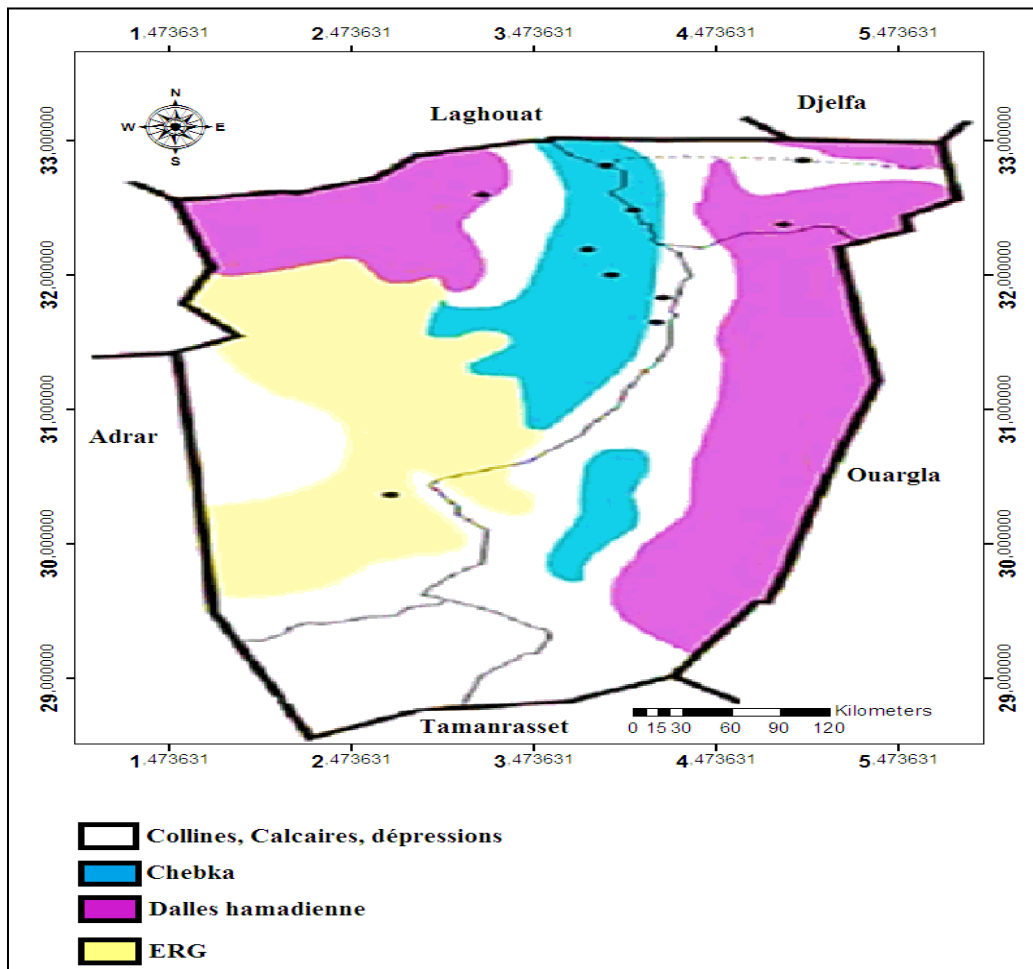


Figure.04 : Carte géomorphologique de la région Ghardaïa.

Selon (Bensamoun, 2007), la région de Metlili est caractérisée par la présence de différentes formes géomorphologiques qui sont :

a) **Les oueds** : oued Metlili, dont l'orientation est l'Est vers l'Ouest jusqu'aux environ de Ouargla.

b) **Hamada** : terre régulée qui existe à l'Est de la région de Metlili

c) **Chebka** : comme une terre rocheuse ou existe les lignes des ensemble des oueds exemple oued Metlili, oued Sebseb ou Oued N'Sa.

d) **Aregs** : est une formation des sable différents en volume soit mobiles ou stables, ils occupent une grande partie de la superficie total de la wilaya de Ghardaïa, il reçoit l'affluent de Chaabet Smail sur la rive gauche.

Plus en aval l'oued conflue avec deux affluents sur la rive droite, Chaabat Timoukert et Chaabat Sid cheikh (Achour et Ouaisi Sekouti, 2003).

1.5. Occupation du sol :

La région de Metlili connu qu'est un zone palmeraie, qui couvre une grande partie de la superficie de la zone, la zone urbanise couvre la petite partie de la superficie, vos populations atteint 43.030 habitants, le tissu urbain de la ville est construit par des pôles d'évolution où la ville est en voie de saturation (D.P.A.T, 2009).

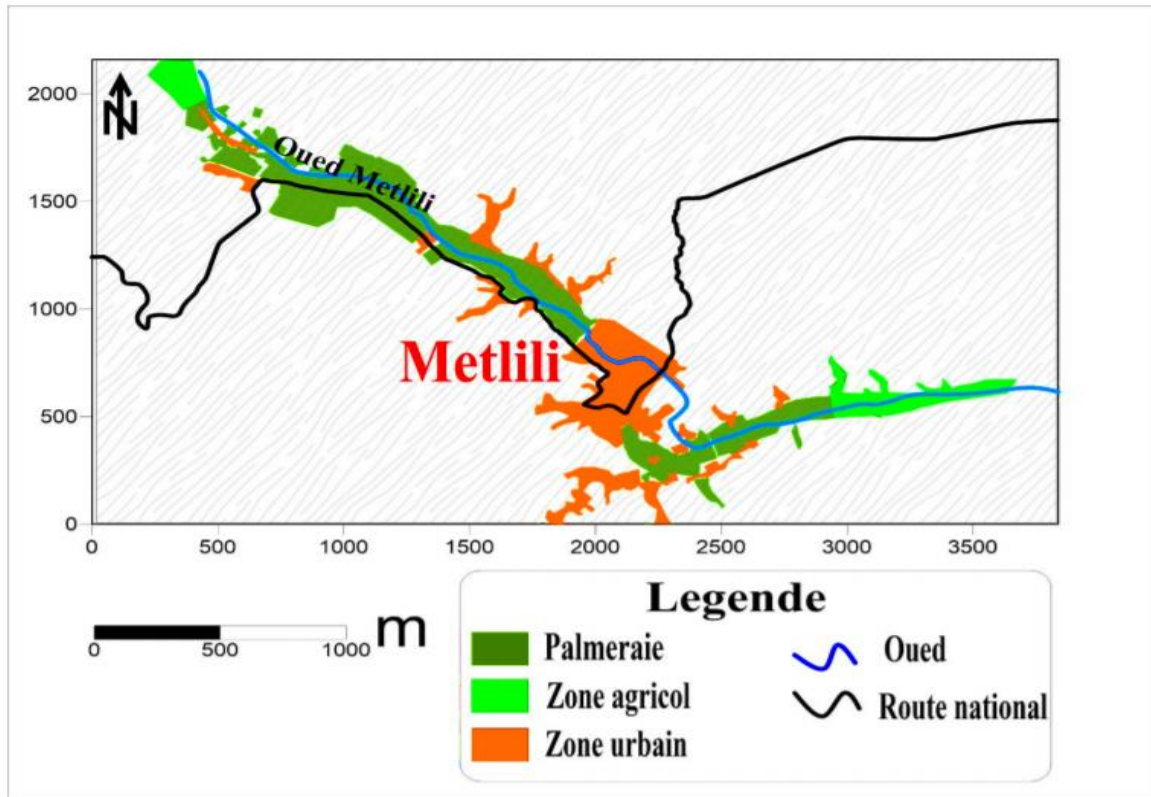


Figure.05: Carte occupation du sol de la région de Metlili (logiciel surfer).

I-5.1. Structure des exploitations agricoles :

Le secteur de l'agriculture est caractérisé par deux systèmes d'exploitation; l'ancienne palmeraie et la mise en valeur.

I-5.1.1 Le système oasien de l'ancienne palmeraie :

Le système oasien de l'ancienne palmeraie est caractérisé par une forte densité de plantation, palmiers âgés, une irrigation traditionnelle par séguias et des exploitations mal structurées et fortement morcelées (0.5 à 1.5 ha). Ce système caractérisé par des cultures étagées de palmiers dattiers, arbres fruitiers, maraîchage et fourrages en intercalaire des activités d'élevages familiaux sont souvent pratiquées avec des cheptels de petites tailles.

I-5.1.2 La mise en valeur :

Le système de mise en valeur se scinde en une :

-1) Mise en valeur péri-oasienne : il s'agit petite mise en valeur, basée sur l'extension des anciennes palmeraies selon un système oasien amélioré et caractérisé par une irrigation localisée, une densité optimale, un alignement régulier, et une exploitation structurée. La taille moyenne est de 2 à 10 ha.

-2) Mise en valeur d'entreprise : C'est la grande mise en valeur mobilisant d'importants investissements, basée sur l'exploitation exclusive des eaux souterraines profondes et est caractérisée par: structure foncière importante (jusqu'à 500 ha), mécanisation plus importante, irrigation localisée et/ou par aspersion. Pratiquant des cultures de plein champs et vergers phoénicoles et arboricoles. Les cheptels associés aux productions végétales sont importants notamment ovin et bovin.

I.6.Climat de Metlili:

Le caractère du climat saharien est du tous d'abord à la situation en latitude, au niveau du tropique, ce qui entraîne de fortes température, et au régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (Ozenda, 1991).

Le caractère fondamental du climat saharien et la sécheresse (Dubief, 1959).

Le climat de la zone d'étude est de type saharien, caractérisé par un écart élevé entre la température de l'été et celle de l'hiver, une faible précipitation et une évaporation intense (Achour et OuaiSSI Sekouti, 2003).

La région de Ghardaïa est typiquement Saharien, caractérise par deux saison : une saison chaude et sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars) et une grand différence entre les températures de l'été et de hiver (A.N.R.H, 2007).

Vu qu'il n'y a pas une station météorologique dans la commune de Metlili, la présente caractérisation climatique est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans entre 2008 et 2018, à partir des données de l'Office Nationale de Météorologie (O.N.M., Ghardaïa 2020) sur la région de Ghardaïa.

I.6.1. Les températures:

Ce paramètre joue un rôle essentiel dans l'évaluation du déficit d'écoulement qui intervient Dans l'estimation du bilan hydrogéologique. C'est un facteur principal qui conditionne le climat de la région, le tableau ci-dessous montre les données de température.

Tableau 1 : Températures (°C.) moyennes mensuelles, des maxima et des minima pour les dix ans (2008-2018) dans la région de METLILI.

| Mois | Sept | Oct | Nov | Déc | Jan | Fév | Mar | Avri | Mai | Juin | Juill | Aout |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T° C Min | 21.7 | 16.59 | 8.93 | 5.49 | 4.78 | 5.93 | 9.22 | 13.15 | 17.8 | 23.08 | 27.74 | 26.63 |
| T° C Max | 38.79 | 34.38 | 26.96 | 21.29 | 21.05 | 23.02 | 28.29 | 33.67 | 37.69 | 42.58 | 45.65 | 43.6 |
| T°C Moyenne mensuelle | 30.88 | 25.02 | 17.54 | 12.86 | 12.01 | 13.87 | 18.24 | 31.73 | 28.31 | 32.93 | 34.7 | 35.63 |

- T est la température exprimée en °C.
- M : moyennes mensuelles des températures maximales en °C.;
- m : moyennes mensuelles des températures minimales en °C.;
- $(M+m)/2$: Moyennes mensuelles des températures maximales et minimales en °C.

Les valeurs de la température affichées dans le tableau I caractérisent le climat d'une région saharienne. On remarque que le maximum du mois le plus chaud est noté en juillet avec 45,65°C, et le minimum le plus froid est noté au mois de janvier avec 4,78°C (Tableau I).

La température moyenne mensuelle est atteinte au mois d'Aout une valeur de 35.63°C.

La courbe représente des températures (min, max et moy) montrent pratiquement la même allure avec chacune. Un axe de symétrie (mois de janvier).

Ce qui nous laisse supposer la présence de trois périodes bien distinctes :

- Une période allant du mois de février à juillet marquée par une nette progression des températures.
- Une période de stabilité maximale, du mois de juillet à Aout.
- Une période qui débute au mois de Septembre ou les températures baissent Pour atteindre leur minimum au mois de janvier.

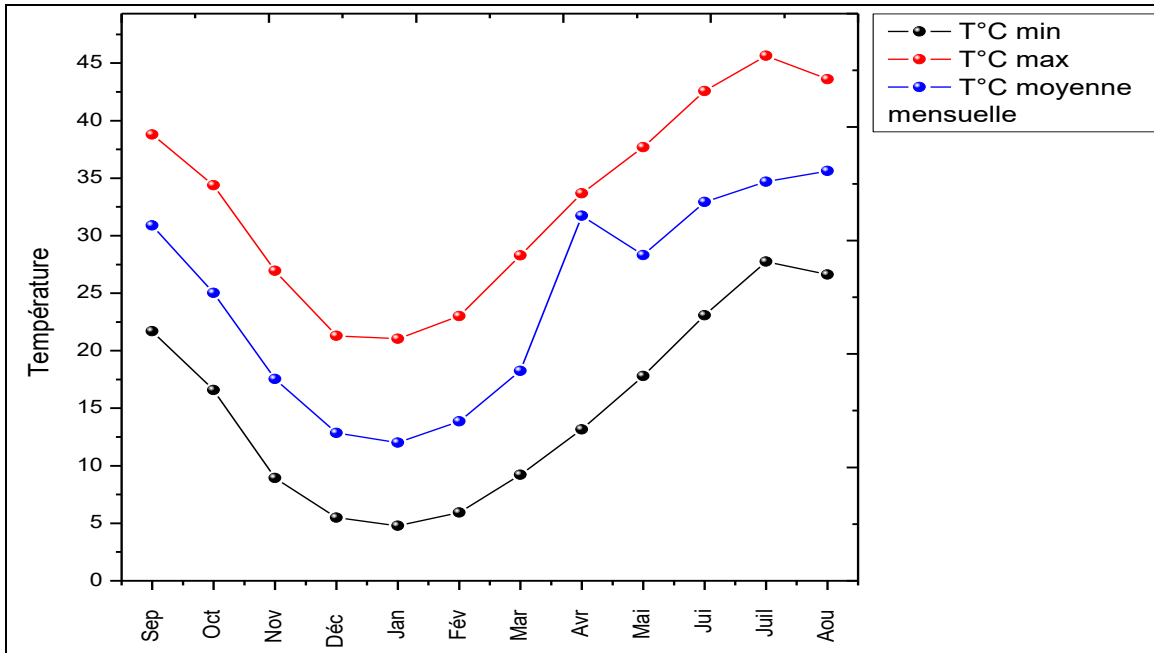


Figure. 06 : Graphe des variations des Températures Mensuelle de la région METLILI

I.6.2. Les précipitations:

Avec la température, les précipitations représentent les facteurs les plus importants du climat (Faurie et al, 2011).

Les précipitations entrent dans le bilan hydrogéologie et pour estimer la réserve d'eau dans la nappe superficielle et le régime des cours d'eau dans le bassin. Elles sont exprimées généralement en hauteur de lame d'eau précipitée par unité de surface horizontale (mm).

a)Précipitations annuelles :

Le tableau des variations annuelles des précipitations (Tableau.02) montre que l'année Pluvieuse est l'année 2004 avec une hauteur annuelle de 171.3 mm et l'année la plus Sèche est celle de 2018 avec une hauteur annuelle de 22.4 mm.

Tableau. 02 : Précipitations moyennes annuelle de Ghardaïa (1998- 2018)

| Année | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|-----------------------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| Moyenne annuelle | 25.2 | 103.9 | 56.7 | 48.6 | 59.6 | 96 | 171.3 | 101.9 | 72.2 | 61.3 |
| 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| T°C moyenne mensuelle | 134.6 | 41.8 | 154.8 | 38.9 | 67.6 | 45.9 | 53.0 | 30.2 | 42.3 | 22.4 |

b) Les précipitations moyennes mensuelles:

Pour l'étude de la précipitation on a obtenue une série pluviométrique de l'ONM de Ghardaïa pour une période de (1998-2018). Selon le (Tableau 03), on observe que le mois de Septembre est le pluvieux avec une moyenne de 16.6 mm (Fig.06). Par contre le mois de Juillet est le plus sec avec une moyenne de 2.1 mm.

Tableau.03 : Précipitations moyennes mensuelles de Ghardaïa (1998- 2018).

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| P(mm) | 16.6 | 7.4 | 5.5 | 6.0 | 9.6 | 8.6 | 7.3 | 6.1 | 2.7 | 2.5 | 2.1 | 5.7 |

Les précipitations sont en générale faibles et caractérisant les climats arides.

Les valeurs maximales sont enregistrées au mois de Septembre (16,6 mm) et Janvier (9.6 mm), et la valeur le plus moins a été enregistrées au mois de juillet (2.1mm). Ce qui explique la sécheresse de la région étudiée.

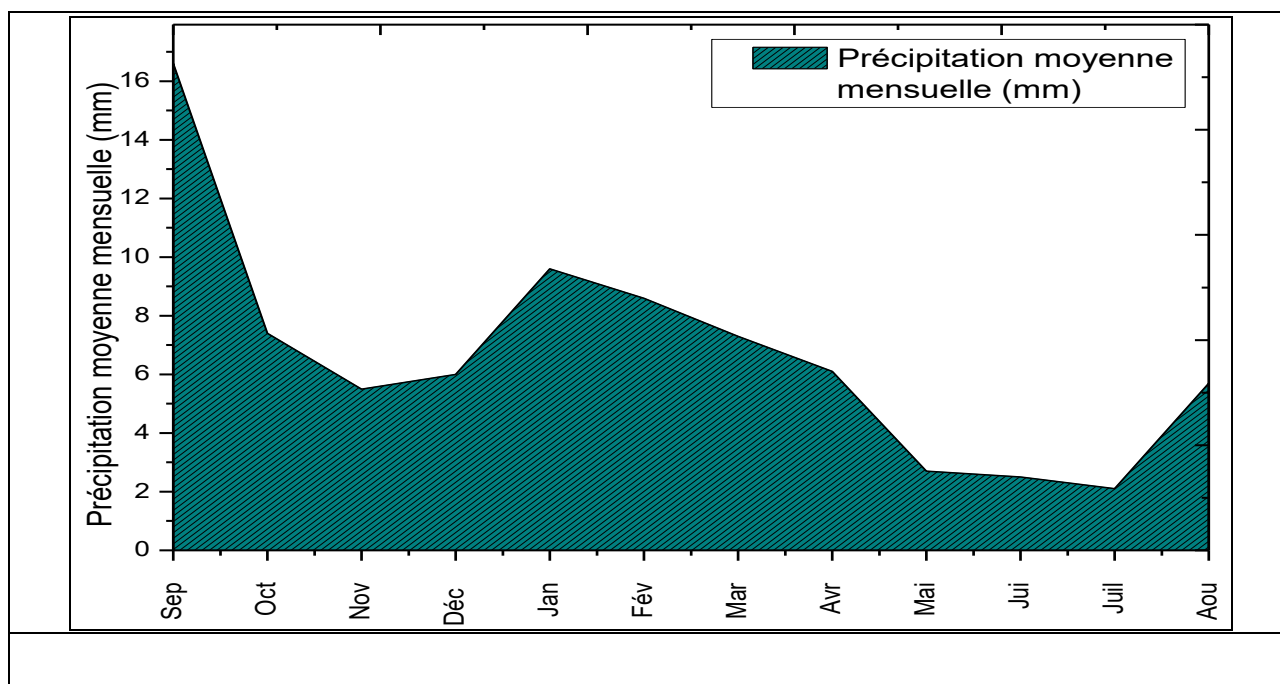


Figure.7 : La précipitation moyenne mensuelle de la région de Ghardaïa (1998/2008).

1.6.3. L'Humidité :

L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère. L'humidité moyenne de la région est minimum pendant le mois de Mai avec une valeur de l'ordre de **21.5%** et maximum pendant le mois d'Aout avec une valeur de **58.1%**.

D'après le (Tableau 04) et la (Fig.07), on constate que l'humidité relative est très faible avec une moyenne annuelle de 35.38%. Pour le mois d'Aout et Septembre , elle dépasse 50%.

Tableau.04 : Humidité relative moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018)

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Humidité (%) | 53.3 | 45.1 | 38.3 | 34.2 | 28.6 | 25.4 | 21.5 | 26.1 | 36.6 | 43.6 | 50.2 | 58.1 |

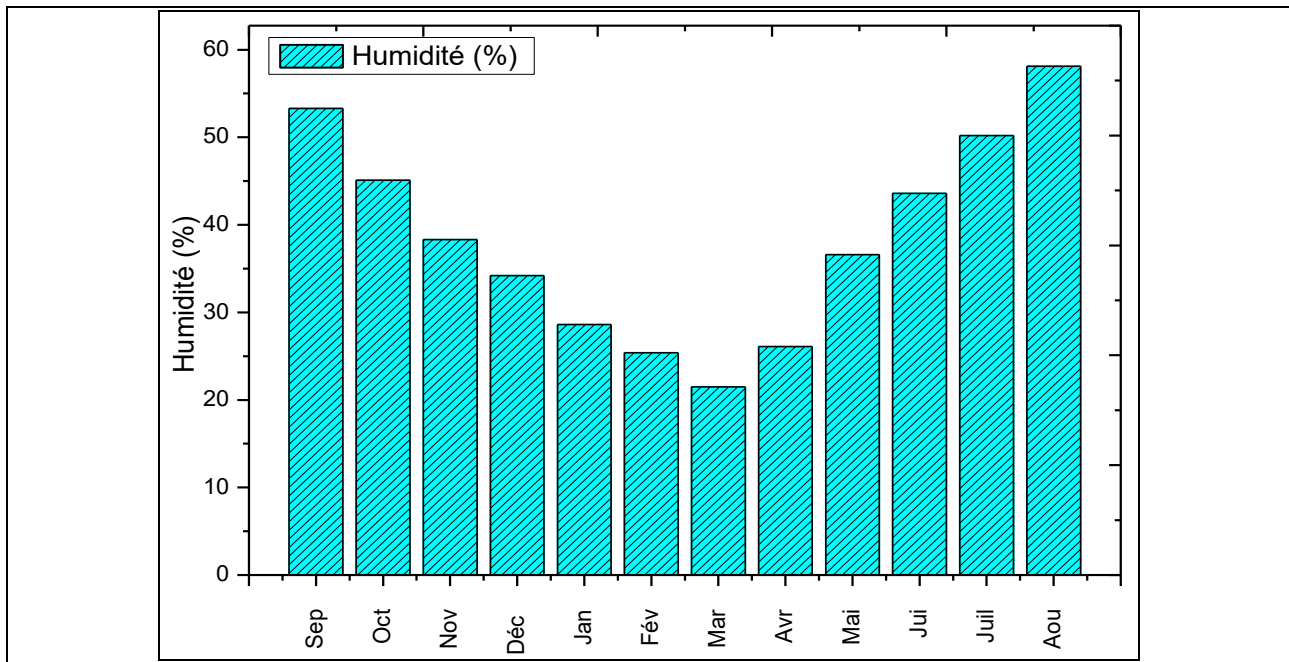


Figure.08 : L'Humidité moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (1998/2008).

1.6.4. L'évaporation :

L'évaporation mesurée sous l'abri par l'évaporomètre de Piché est de l'ordre de 3110 mm/an à savoir 35 fois plus grande que la pluviométrie. Avec un maximum au mois de Juillet de L'ordre de 418 mm et un minimum de 105 mm obtenue au mois de Janvier (Fig.08). CES valeurs élevées sont reliées à la forte température et aux vents violents.

Tableau.05 : l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (1998 -2018).

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Evap (mm) | 281 | 188 | 127 | 130 | 105 | 128 | 183 | 263 | 313 | 370 | 418 | 376 |

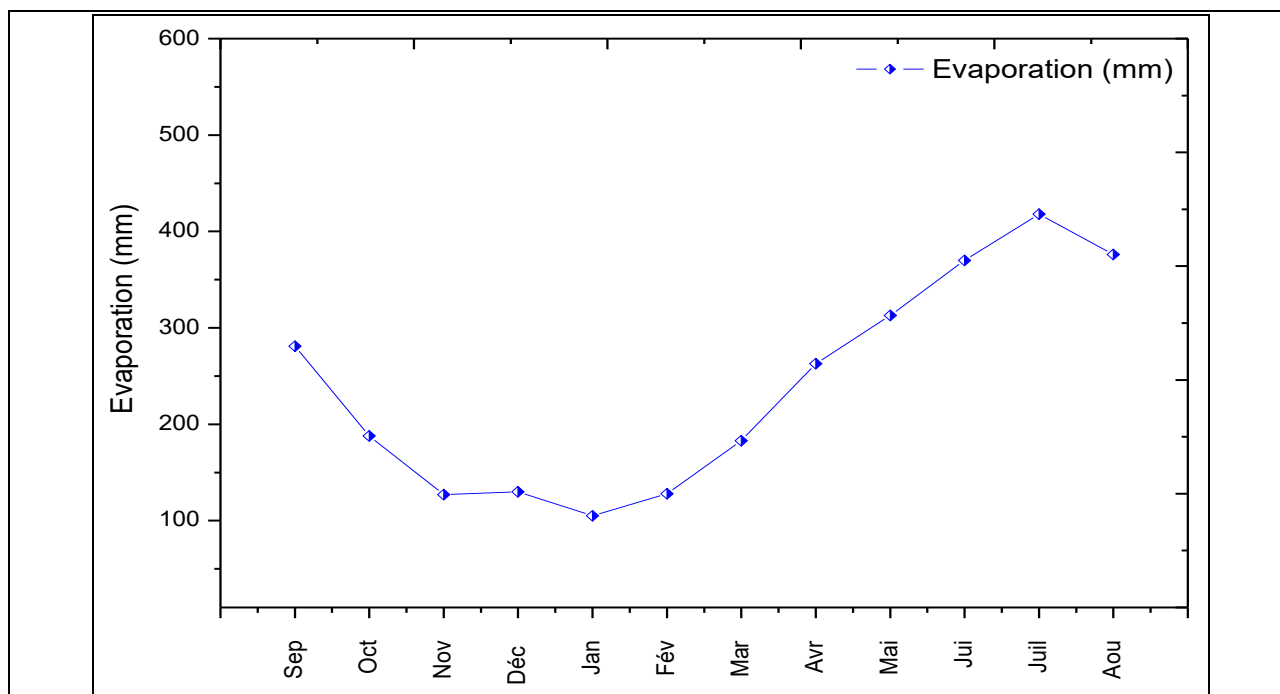


Figure.09: L'évaporation mensuelle de la région de Ghardaïa.

1.6.5. Le vent :

Le vent est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région. Sa vitesse Régit l'évaporation à la surface du sol et de la végétation. La région de Ghardaïa est traversée par des vents de direction générale N-O. Les vitesses Moyennes mensuelles des vents à la station ONM Ghardaïa sont illustrées dans le tableau Suivant :

Tableau.06 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents.

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Vent (m/s) | 21.03 | 27.34 | 17.27 | 17.8 | 17.18 | 19.29 | 19.68 | 21.36 | 22.27 | 22.15 | 21.27 | 22.71 |

On remarque que le maximum des vitesses est enregistré au mois d'Octobre et le minimum Au mois de Janvier.

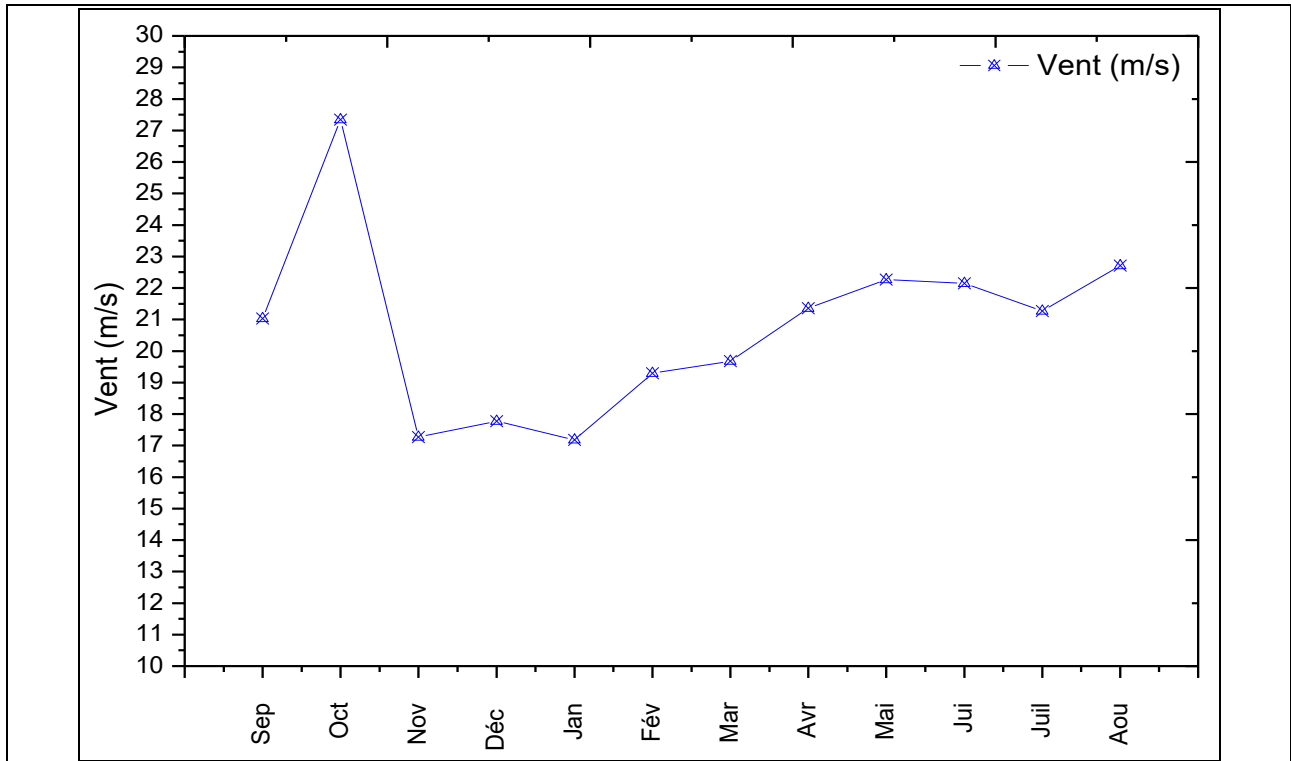


Figure.10: Les vitesses moyennes mensuelles des vents.

1.6.6 L'insolation :

Le tableau ci-dessous montre les données de l'insolation.

Tableau.07: durée mensuelle de l'insolation totale (heures/mois) station ONM Ghardaïa (Période 1998/2018).

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Insol(h /mois) | 282 | 281 | 262 | 253 | 262 | 256 | 293 | 310 | 338 | 355 | 361 | 342 |

En été : les valeurs moyennes maximales sont enregistrées au mois de Juillet, avec une valeur de 361 (H/mois).

En hiver : les valeurs moyennes minimales sont enregistrées pendant le mois de Décembre avec une valeur de 253(h/mois). La moyenne annuelle de l'insolation est 308 (h/mois).

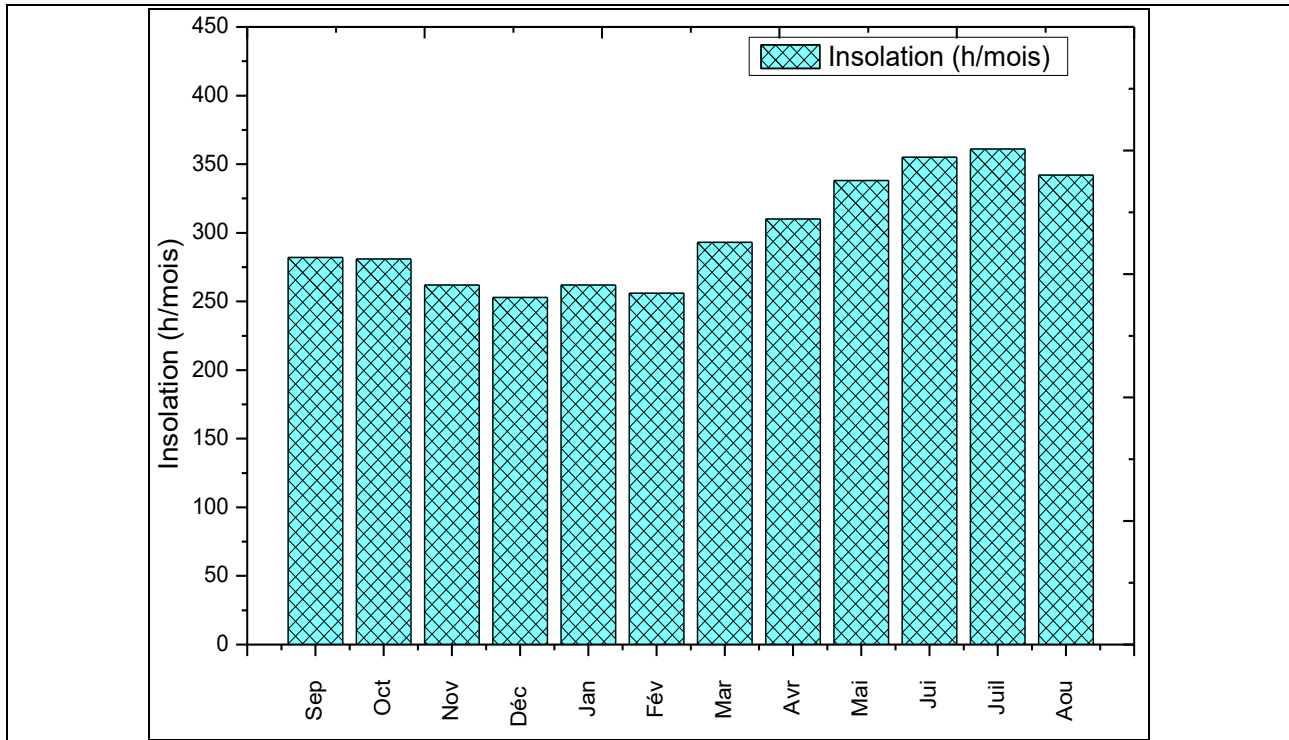


Figure.11: L'insolation mensuelle de la région de Ghardaïa.

1.6.7. Diagramme ombrothermique de Gausson $P = 2T$:

Le diagramme ombrothermique de Gausson permet de définir les mois secs. Un mois est considéré sec lorsque les précipitations mensuelles correspondantes exprimées en Millimètres sont égales ou inférieures au double de la température exprimée en degré Celsius (MUTIN. 1977).

Tableau.08: données de diagramme ombrothermique.

| Mois | Jan | Fev | Mars | Avr | Mai | Jui | Juill | Aout | Sep | Oct | Nov | Dec |
|---------------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P (mm) | 9.73 | 2.47 | 7.42 | 6.2 | 1.98 | 2.3 | 2.15 | 5.85 | 16.58 | 7.21 | 5.56 | 6.31 |
| 2 T°C | 24.02 | 27.73 | 36.47 | 63.5 | 56.61 | 65.9 | 69.39 | 71.25 | 61.75 | 50.03 | 35.08 | 25.71 |

Selon le diagramme ombrothermique de Gausson de la région d'étude, il existe une seule période sèche qui s'étale sur toute l'année (12 mois) (Fig.11).

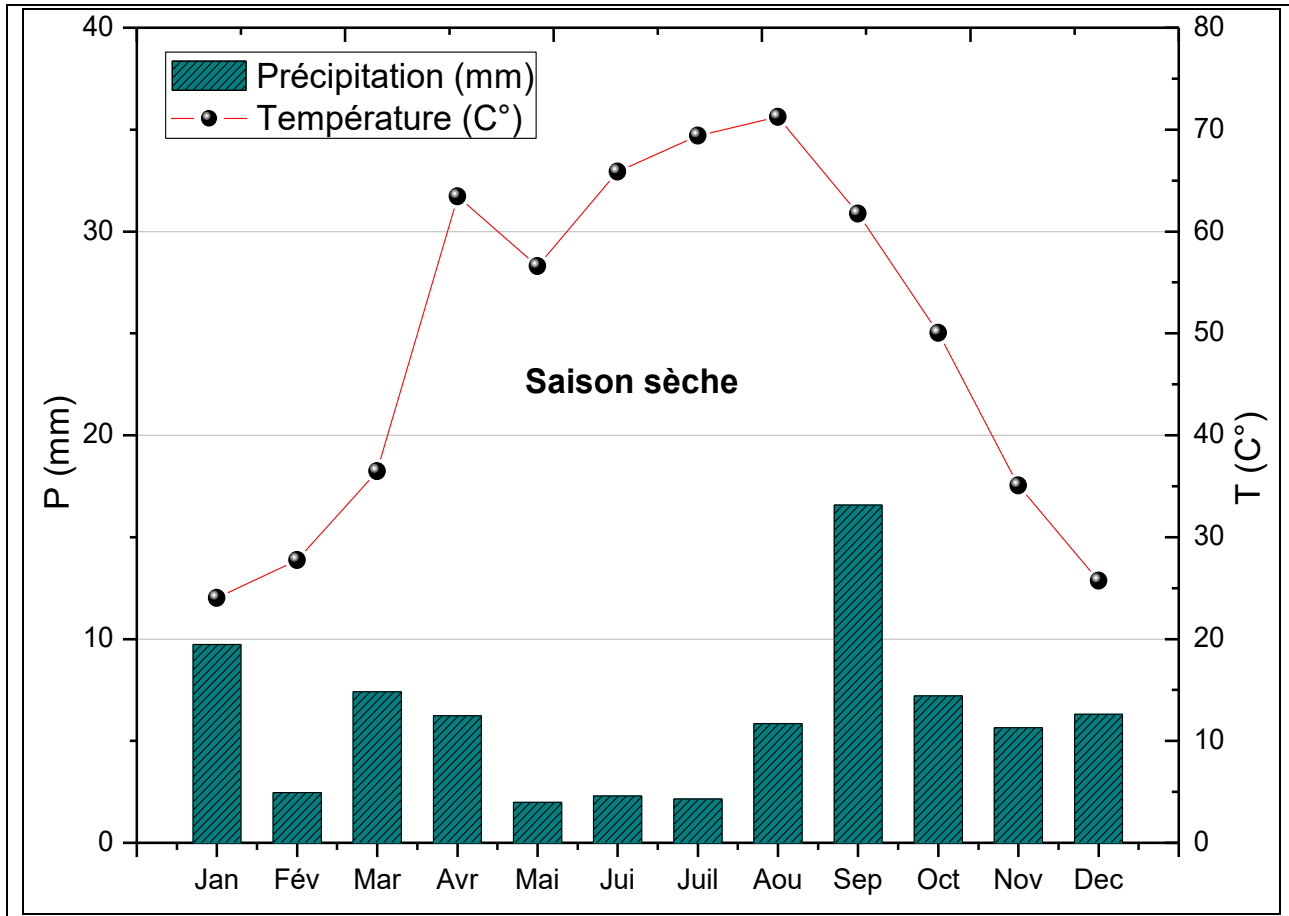


Figure.12: Diagramme Ombrothermique P = 2T de la région de Ghardaïa (1998-2018).

1.6.8. Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa :

D'après la méthode de Thornthwaite et Turc, Durant la période (1998-2018) l'année est déficitaire ; la quantité d'eau précipitée Sera vite évaporée parce que l'évapotranspiration potentielle l'ETP est plus importante. Que les précipitations, le ruissellement et la réserve facilement utilisable est nulle Pendant les douze mois, Le déficit (DA) agricole est présent pendant toute l'année, elle atteindra son maximum au mois de juillet (287.1mm).

Tableau .09 : Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa dans la période (1998-2018).

| Mois | S | O | N | D | J | F | M | A | M | J | J | A |
|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| T°C | 30.9 | 25 | 17.5 | 12.9 | 12 | 13.9 | 18.2 | 31.7 | 28.3 | 32.9 | 34.7 | 35.6 |
| P(mm) | 16.6 | 7.2 | 5.6 | 6.3 | 9.7 | 2.5 | 7.4 | 6.2 | 2 | 2.3 | 2.1 | 5.9 |
| i | 15.7 | 11.4 | 6.7 | 4.2 | 3.8 | 4.7 | 7.1 | 16.4 | 13.8 | 17.4 | 18.8 | 19.5 |
| I | 139.5 | | | | | | | | | | | |
| a | 2.7 | | | | | | | | | | | |
| F | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.4 | 1.5 | 1.4 | 1.5 | 1.5 | 1.4 |
| K | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| ETP | 140.2 | 78.9 | 29.9 | 12.8 | 10.6 | 15.7 | 33.3 | 151.0 | 110.6 | 167.2 | 192.8 | 207.3 |
| ETP c | 196.3 | 110.5 | 38.9 | 16.6 | 13.8 | 22.0 | 46.6 | 226.5 | 154.8 | 250.8 | 289.3 | 290.2 |
| ETR | 16.6 | 7.2 | 5.6 | 6.3 | 9.7 | 2.5 | 7.4 | 6.2 | 2.0 | 2.3 | 2.1 | 5.9 |
| RFU | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| DA | 179.7 | 103.3 | 33.3 | 10.3 | 4.1 | 19.6 | 39.2 | 220.3 | 152.8 | 248.5 | 287.1 | 284.4 |

Avec :

P : Précipitations moyennes annuelles en mm. $P=E+R+I$

E : ETR moyenne annuelle en mm. $ETR= k_s *k_c *ETP$

R : Ruissellement moyen annuel en mm.

I : Infiltration moyenne annuelle en mm.

ETP : Evapotranspiration mensuelle; **T:** Température moyenne mensuelle (en °C) ;

i: Indice thermique mensuel, déterminé par l'expression : $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$

a : Coefficient calculé par la formule : $a = \left(\frac{1.6}{100}\right)I + 0.5$

Conclusion :

Le climat de la région de Metlili est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations (max 16mm) d'une part, et les températures très élevées dépassent 30°C pendant le mois de Juin (max moy 32.93°C) et juillet (max moy 34.69°C) d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région à partir ces hautes températures et faibles précipitations acquièrent un climat saharien hyper aride de notre zone d'étude.

La région de Metlili entaillée dans les massifs calcaires du Turonien se caractérise par 4 couches géologiques : Quaternaire, Touranien, Cénomaniens, Albien .Cette région dépend à l'agriculture, La nappe albien présente un intérêt important dans le domaine agricole.

CHAPITRE II

ETUDE HYDROLOGIQUE

Introduction :

Notre secteur d'étude fait partie de la plateforme saharienne. Les études géologiques ont montré qu'elle forme un grand bassin sédimentaire, et les études hydrogéologiques de (UNESCO/ERSS 1972) et (OSS 2003) ont montré l'existence d'un grand réservoir aquifère multicouches, il a été nommé le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

Les eaux superficielles : Metlili se caractérisent comme étant très pauvre en eaux superficielles à l'exception des crues d'Oued Metlili.

Les eaux souterraines : Les principales ressources en eau de la commune sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; les nappes phréatiques superficielles d'infero-flux et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albienne (Achour et Ouaissisekouti, 2003).

II.1 .La réserve du CT :

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson 1972 ; FABRE 1976). Le terme de « nappes du Complexe Terminal » qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font bien partie d'un même ensemble hydraulique.

Les intercommunications entre Sénonien, Eocène et Mio-Pliocène sont évidentes sur l'ensemble du Bassin, à l'exception de la région des chotts où l'Eocène moyen et supérieur imperméable vient s'intercaler. La nappe turonienne est plus individualisée par suite de la couverture imperméable du Sénonien inférieur.

Cependant, ses niveaux concordent avec ceux du Sénonien ou du Mio-Pliocène sur la bordure du bassin.

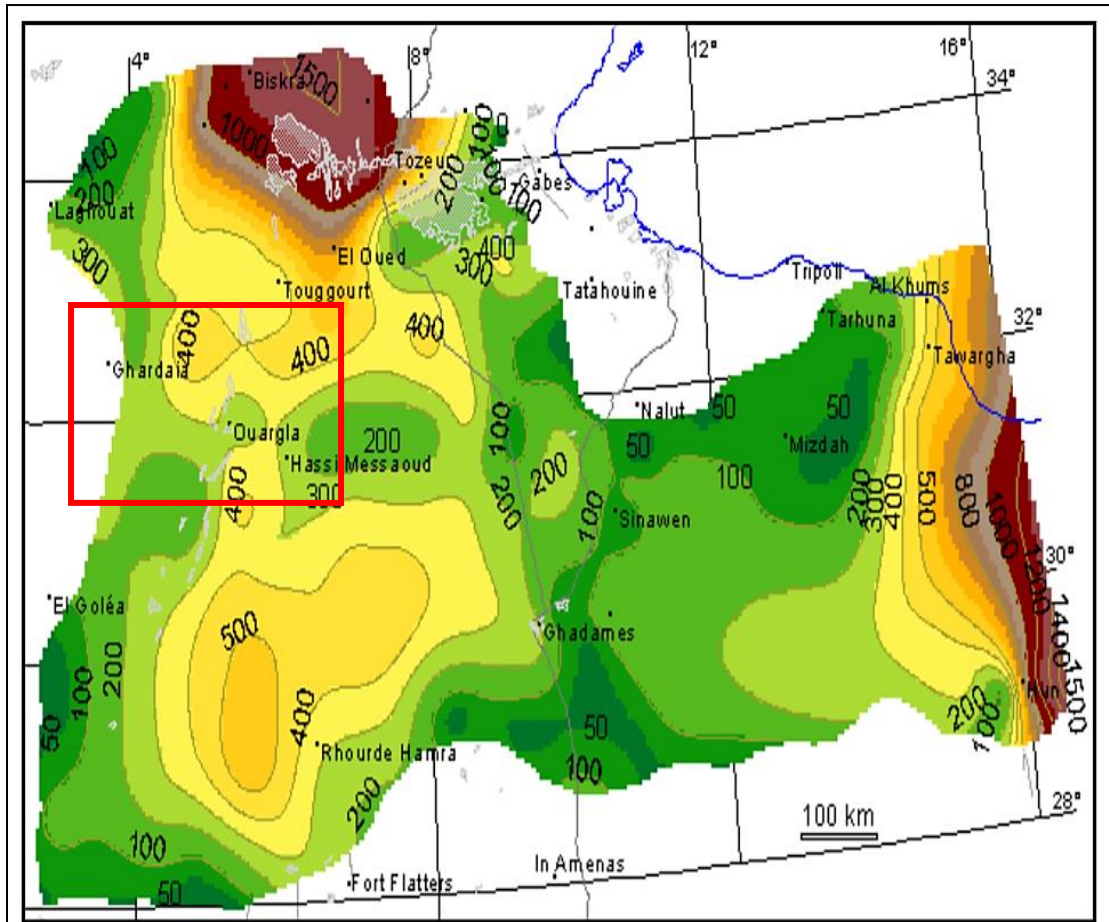


Figure.13: Carte des épaisseurs du CT (OSS, 2003b)

La profondeur du CT est comprise entre 100 et 600 m et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m, il affleure aux endroits suivants : o Au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens; o À l'Est, le long du flanc oriental du Dahar; o Au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït; o À l'Ouest, région de Ghardaïa sur la dorsale du M'Zab.

II.2 .La nappe continentale intercalaire (CI) :

Souvent appelée « Nappe de l'albien » couvre les terrains dont l'âge va du Trias à l'albien (B.N.D.R, 2013).

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : l'Algérie, la Tunisie et la Libye. La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 Km² .Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 50 000 milliards m³ environ.

Dans la région Metlili la nappe albien correspondant à la formation du continental intercalaire avec une profondeur allant de 400 à 500 m, elle est caractérisée par un débit de 22 à 45 l/s et est

constituée d'une masse importante de grés et sable fin argileuse, qui est aquifère. Le cénomanien représente son toit imperméable.

Le terme du Continental Intercalaire désigne un épisode continental localisé entre deux cycles sédimentaires marins : à la base, le cycle du Paléozoïque qui achève l'orogénèse hercynienne, au sommet, le cycle du Crétacé supérieur, résultat de la transgression cénomanienne.

II.3.Limites du Continental Intercalaire :

Les limites du CI ont été basées à la fois sur l'étude des affleurements géologiques et sur l'étude des sondages, elles sont :

Au Nord-Ouest, le versant Sud de l'Atlas saharien, marqué en affleurement par le contact Albien-Cénomanien ;

Au Sud-Ouest, la limite des affleurements paléozoïques de l'Ougarta, marqués par le cours des oueds Zousfana et Saoura ;

Au Sud, la limite des affleurements du CI sur le Paléozoïque, allant en continuité d'Adrar à Hun, décrivant les limites septentrionales des Tassilis ;

Au Nord, l'accident sud Atlasique au Nord des Chotts, relayé vers le golfe de Gabès par la faille d'EL Hamma – Médenine ;

Au Nord-Est, les affleurements du CI au pied de la falaise du Dahar; à l'Est, les formations aquifères du Crétacé inférieur se prolongent bien au-delà du graben de Hun, mais à l'Est du méridien 16° et en passant au bassin de Syrte, les eaux du CI deviennent saumâtres : c'est ce passage qui a été adopté comme limite de la zone d'étude de la nappe d'eau douce du CI (OSS 2003).

La dorsale du M'Zab, divise le domaine du CI en deux sous-bassins hydrogéologiques : le bassin oriental et le bassin occidental. L'ensemble couvre une surface de 1100.000 de km², et une épaisseur moyenne de 358mètres (OULD BABA SY 2005). La partie Sud du réservoir du CI est largement affectée par les accidents Nord-Sud d'Amguid El Biod qui se prolonge du socle primaire d'El Hoggar.

II.4. La réserve du Continental Intercalaire :

L'étude de l'UNESCO/ERSS (1972) évalue le volume d'eau moyen de l'ensemble des aquifères du CI et CT à $60.000 \times 10^9 \text{ m}^3$. MARGAT (1992) fait état de 40.000×10^9 de m^3 , comme réserve de l'aquifère du CI.

Tableau.10 : Volume d'eau du Continental intercalaire

| Réservoir aquifère | Volume d'eau moyen (10^9 m^3) | Flux moyen (10^9 m^3) | Durée de renouvellement (Années) |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| Continental intercalaire (CI) | S | Q | S / Q |
| | 20,000 | 0,3 | 70,000 |

(OULD BABA SY, 2005)

Selon l'étude sur la réserve de (OULD BABA SY 2005) ; pour une épaisseur moyenne du CI de 358mètres et une aire du domaine du CI évaluée à $1.100.000 \text{ Km}^2$. La porosité efficace moyenne de l'aquifère est de 5% (OSS 2003). Ce qui donne une réserve totale théorique de 20.000×10^9 de m^3 , soit 20.000 milliard de m^3 d'eau (OULD BABA SY, 2005).

II.4.1 Le toit du CI (Albien) :

L'étude des coupes litho-stratigraphiques des forages de la région, nous a permis de localiser le toit de l'aquifère albien. L'utilisation de l'interpolation par la méthode du Krigeage, sous le logiciel ArcGIS, nous a permis d'obtenir la carte d'égale profondeur du toit.

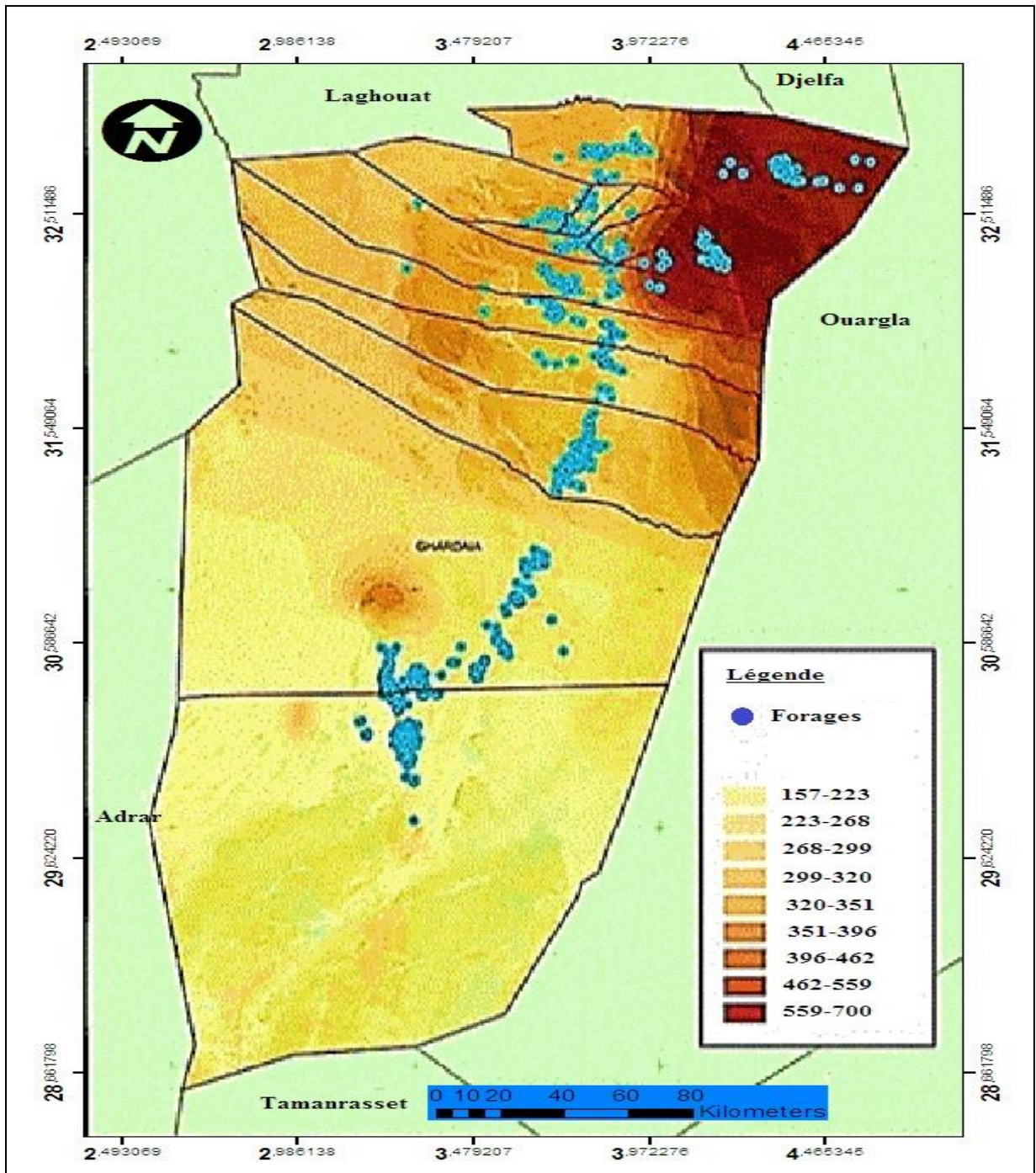


Figure.14 : Carte du toit du Continental Intercalaire dans la région METLILI (par L'utilisation de l'interpolation par la méthode du Krigeage, sous le logiciel ArcGIS)

II.4.2 Profondeur du CI (albien) :

La carte de profondeur montre la même allure que la carte du toit de l'aquifères.

Les forages réalisés présentent des profondeurs allant à 550 m dans la zone de METLILI.

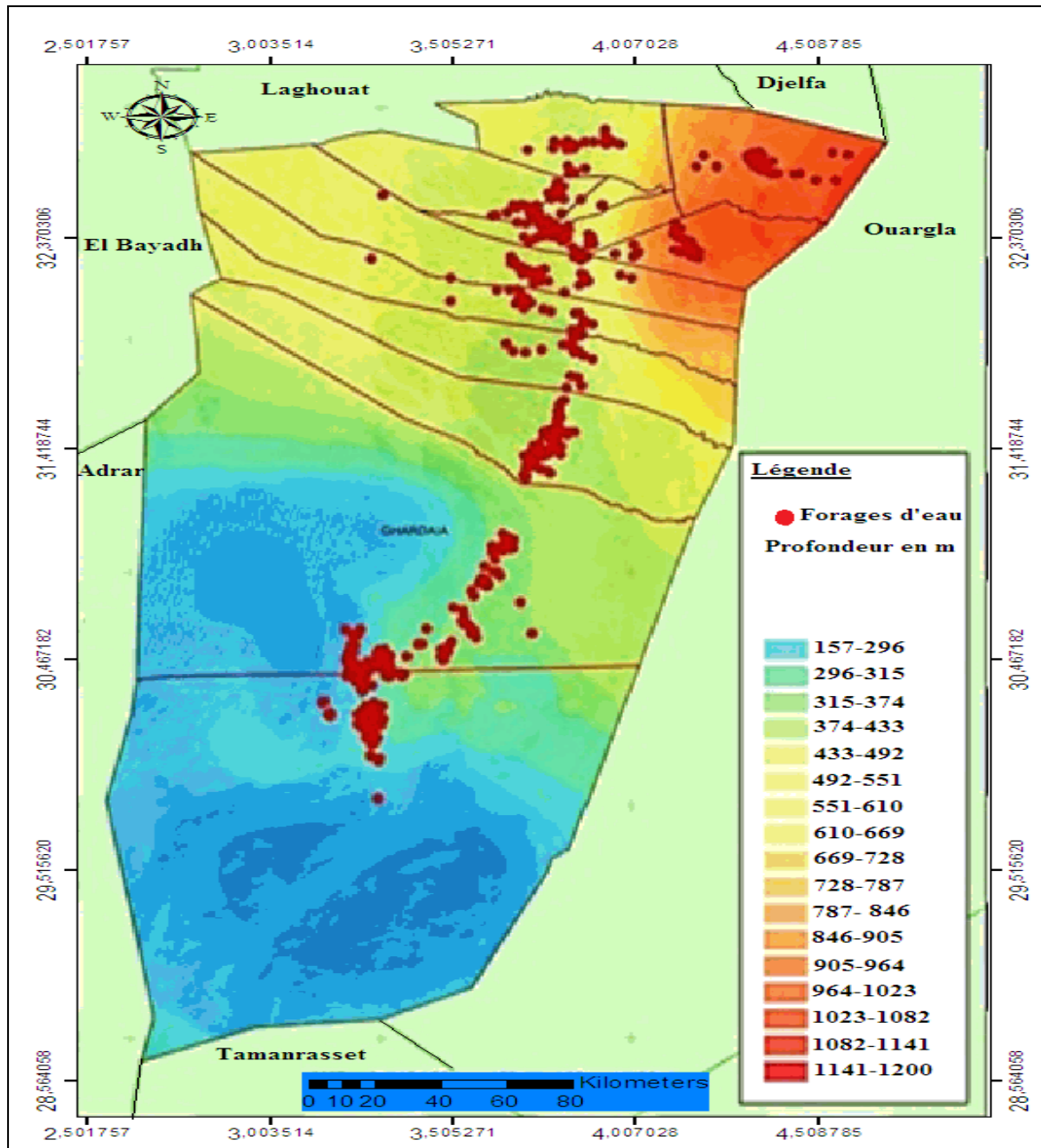


Figure.15 : Carte de la profondeur du Continental Intercalaire dans la région de METLILI (L'utilisation de l'interpolation par la méthode du Krigeage, sous le logiciel ArcGIS).

II.5. Evolution piézométrique de Continental Intercalaire de la zone d'étude :

La campagne piézométrique de la nappe CI de la région de Metlili n'est pas réalisée à cause de certaines conditions qui ne permettent pas la cour propriétaire des forages et les outils nécessaires pour faire cette campagne. Donc, on a fait la carte à partir des données des forages (l'A.N.R.H de Ghardaïa). À partir de cette carte (Fig.15), nous remarquons qu'il y a un sens d'écoulement dans la région d'étude de Nord-Ouest vers l'Est. On remarque aussi que les courbes isopièzes sont bien espacées presque dans toute la région d'étude. Ceci traduit un faible gradient hydraulique. En outre, la carte met en évidence une dépression piézométrique dans les années dernières, à cause de sur exploitation des forages d'IRR dans la zone.

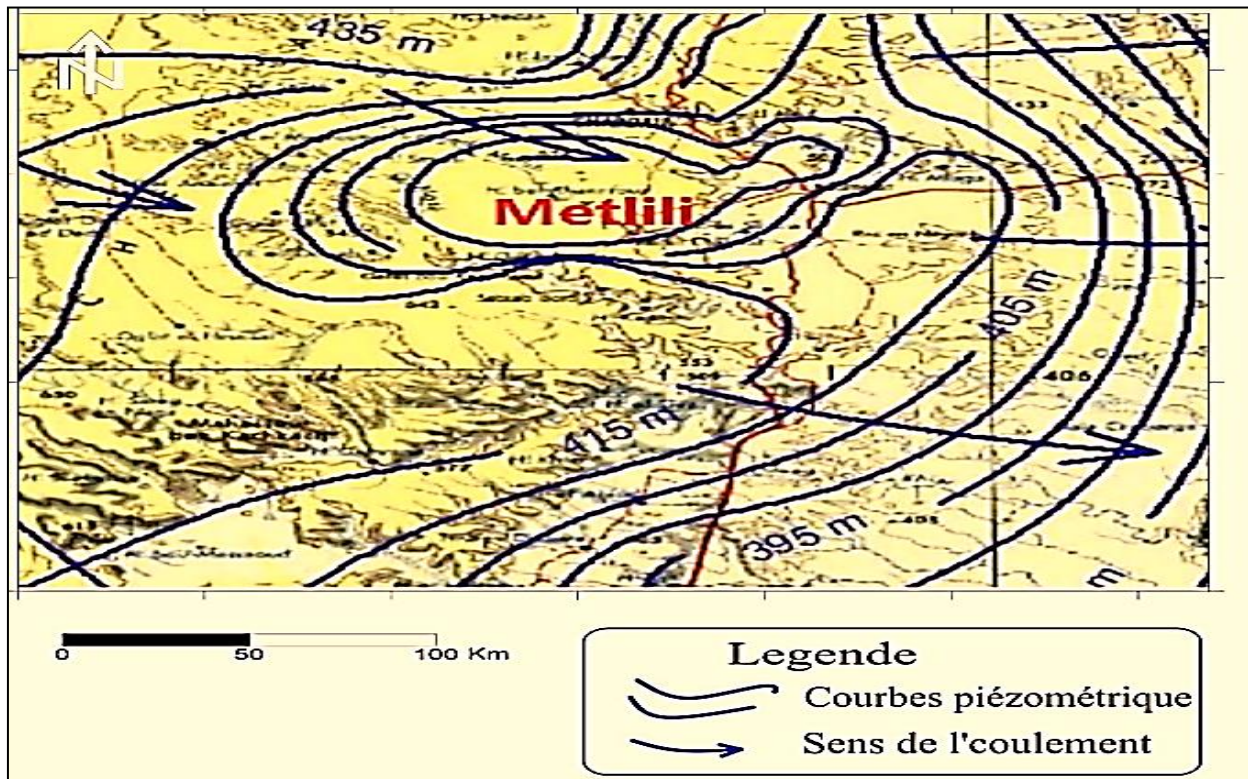


Figure.16: Carte piézométrique de la nappe du CI dans la région du Metlili.

II.6. Le système aquifère de Sahara septentrional (SASS):

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional « SASS » (OSS, 2003) s'étend sur une vaste zone dont les limites sont situées en Algérie, Tunisie et Libye (Fig.18).

Ce bassin renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT). Le domaine du SASS couvre une superficie d'environ 1.000.000 de km² et s'étend du Nord au Sud, depuis l'Atlas saharien jusqu'aux affleurements du Tidikelt et du rebord méridional du Tinrhert, et d'Ouest en Est depuis la vallée du Guir-Saoura jusqu'au Graben de Hun en Libye.

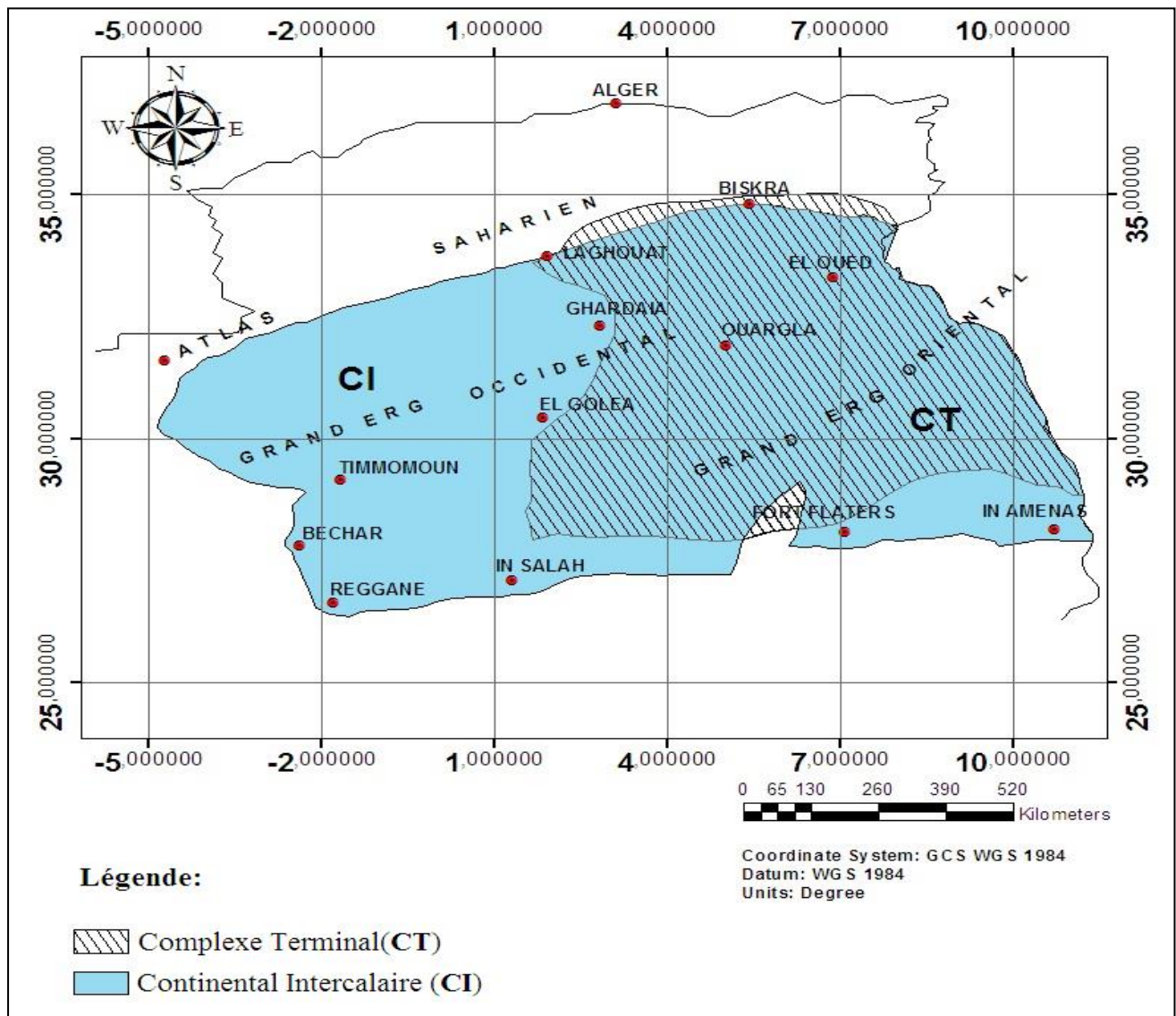


Figure.17 : Carte des limites du complexe terminal et du continental intercalaire en Algérie, modifiée a partir de la carte (OSS ,2003).

Le Continental Intercalaire : CI - Le Complexe Terminal : CT

Ce bassin se subdivise en trois sous-entités : les deux sous-bassins du Grand Erg Occidental et du Grand Erg Oriental qui sont des cuvettes à écoulement endoréique aboutissant dans des dépressions fermées «chotts et sebkhas», et le plateau de la Hamada El Hamra.

Il sera procédé, ici, à la description des principales formations géologiques du Sahara septentrional, à la schématisation du multicouche saharien et à l'estimation des réserves.

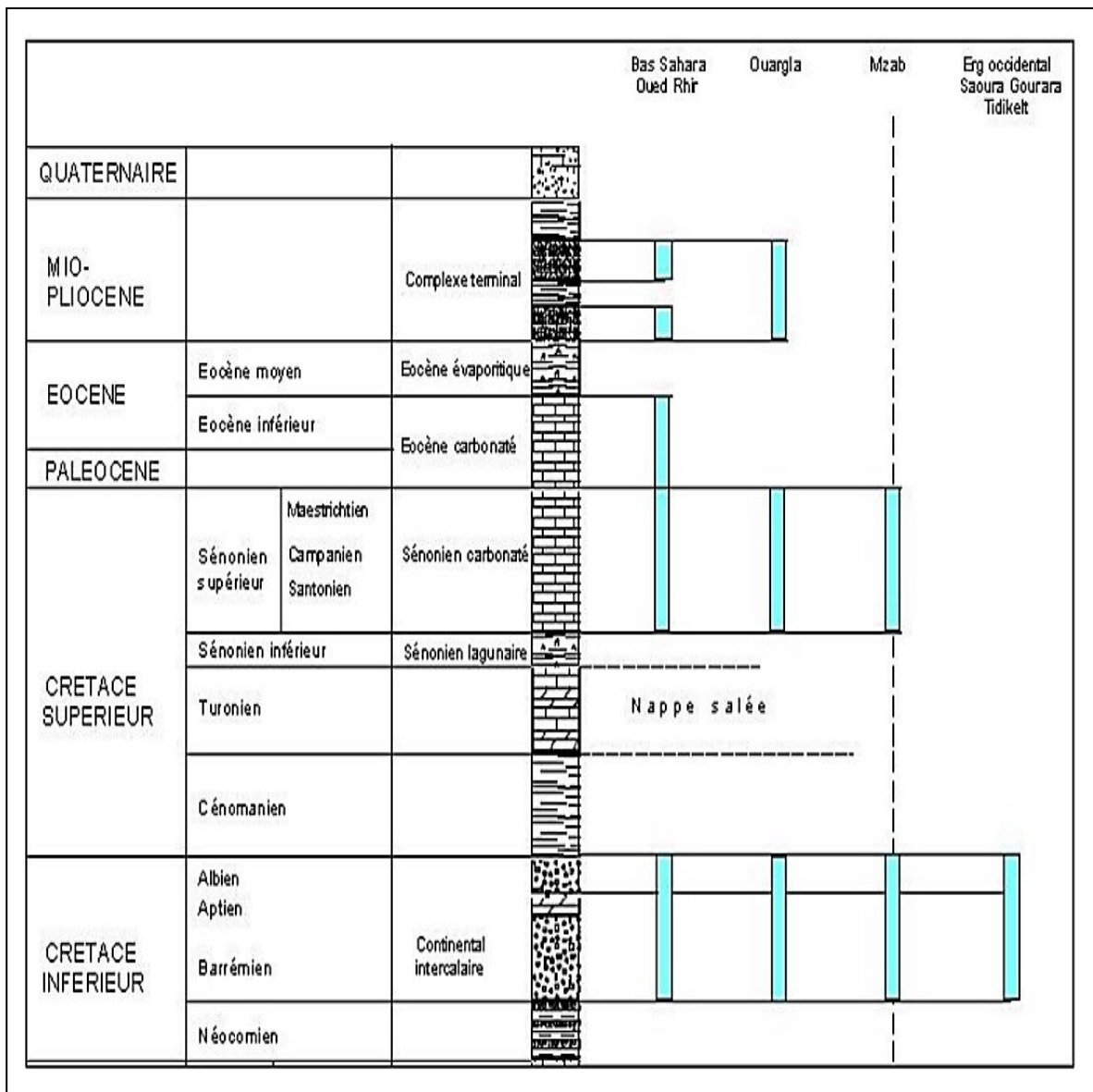


Figure.18 : Les formations géologiques et les aquifères du bassin du SASS (OSS, 2003)

II.7. Présentation de système aquifère de la région de Metlili :

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères ; les nappes superficielles d'inféro-flux (Phréatique), et la nappe profonde captive du Continental Intercalaire dite albienne.

II.7.1. Les nappes superficielles (phréatiques) :

Elle est constituée par l'accumulation des eaux d'infiltration au-dessous d'une couche étanche située à quelque distance de la surface libre du terrain (Mayer, 1954 in Bahaz 2013).

Dans la région de Ghardaïa, trois types de nappes superficielles ont été distinguées :

- La nappe d'eau contenue dans les calcaires du Sénonien carbonate ;
- La nappe d'eau contenue dans les calcaires fissurés du Turonien ;
- Les nappes alluvionnaires de l'Inféro-flux (Oueds), cette dernière concerne principalement notre zone d'étude de METLILI.

II.7.2. Les nappes alluvionnaires :

Les nappes phréatiques de surface sont très fréquentes dans notre zone d'étude. Elles sont formées d'alluvions et de sables du Quaternaire. Constituées de galets et de poudingues qui tapissent les lits des oueds de la dorsale du M'zab. Les alluvions reposent sur les couches calcaires dures du turonien. L'épaisseur de ces alluvions peut atteindre 25 à 30 mètres. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30m. Ces nappes présentent un intérêt très important dans le domaine agricole, elles servent comme une source vitale pour l'irrigation des oasis implantées dans les vallées des oueds et elles servent également pour l'alimentation en eau potable à l'amont de la vallée de METLILI.

Cette dernière est exploitée dans les palmeraies par des puits ordinaires. Le niveau hydrostatique dans ces puits est caractérisé par l'instabilité, il décline pendant les périodes sèches et remonte pendant la saison humide (Achour et Ouaissisekouti, 2003).

II.8. Alimentation des nappes superficielles :

Etant donné que ces nappes sont de surface type libre, elles sont directement alimentées par les eaux de pluie, ainsi que les fréquents écoulements des oueds ou elles se trouvent.

Les eaux de la nappe profonde du CI (albien) de certains forages destinés pour l'irrigation et l'AEP contribuent aussi à l'alimentation de ces nappes.

II.9. Piézométrie des nappes phréatiques de la région de Metlili:

Il s'agit de nappes superficielles ou alluviales, généralement exploitées par puits. Dans la région, l'inféro-flux est encore exploitée notamment en aval bien que le niveau statique de la nappe est élevé (plus de 25 mètres au-dessous du sol). La nappe alluviale de metlili est alimentée par les crues d'Oued metlili et les eaux d'irrigation. La formation de cette nappe sont des calcaire-marneux d'âge Turonien. Ces nappes sont captées par des centaines de puits traditionnels, et destinées Essentiellement, pour irriguer les palmeraies. La qualité chimique des eaux de la nappe est Bonne à la consommation.

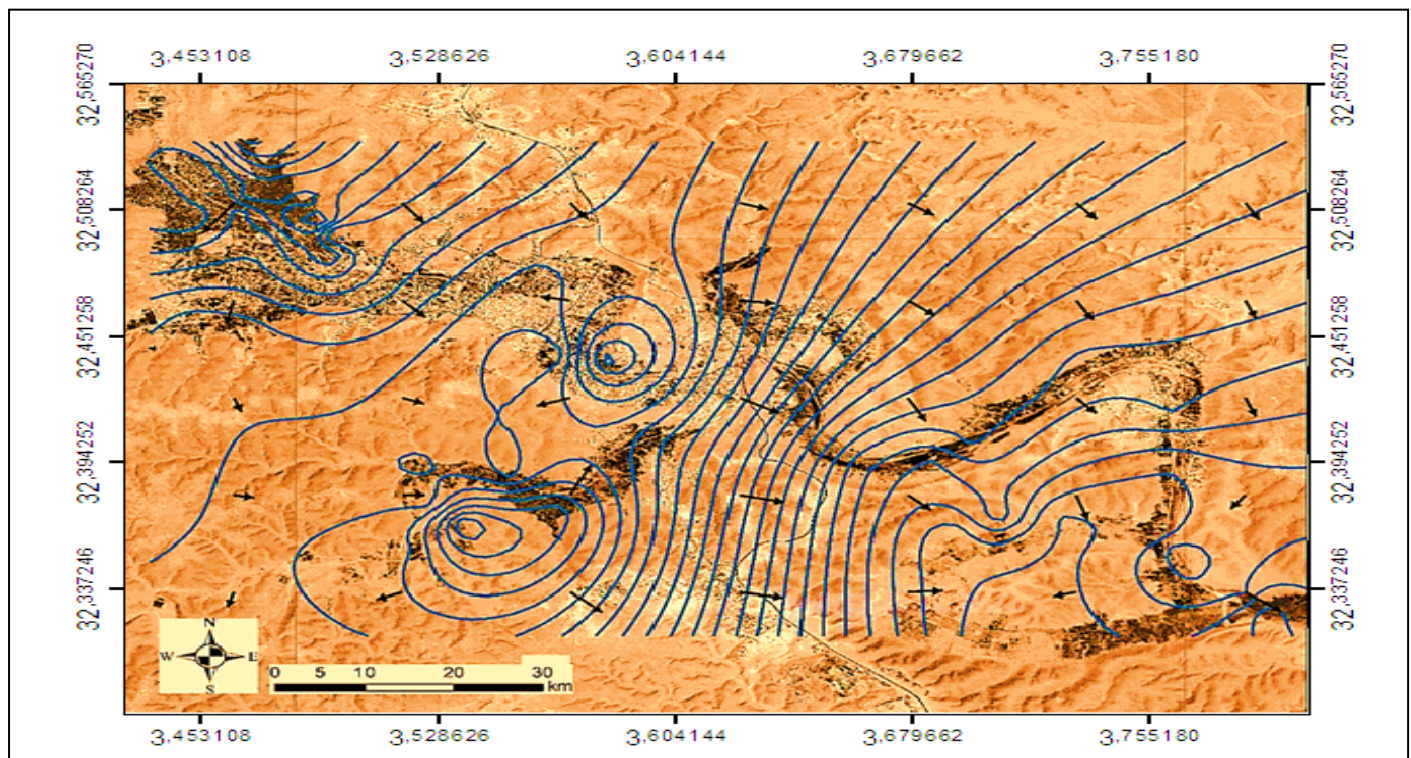


Figure.19: Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée de l'oued M'Zab.

II.10. La nappe du Continental Intercalaire (CI) dans la commune de Metlili :

La nappe du Continental intercalaire représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès, marne et d'argiles sableuses d'âge Albien. Elle est captée à une profondeur allant de 280 à 500m. Cette nappe est Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage, le réservoir principal de la zone d'étude se situe essentiellement dans l'Albien, constitue le principal objectif hydrologique des forages réalisés pour alimenter le village de Metlili en eaux potable et pour l'irrigation.

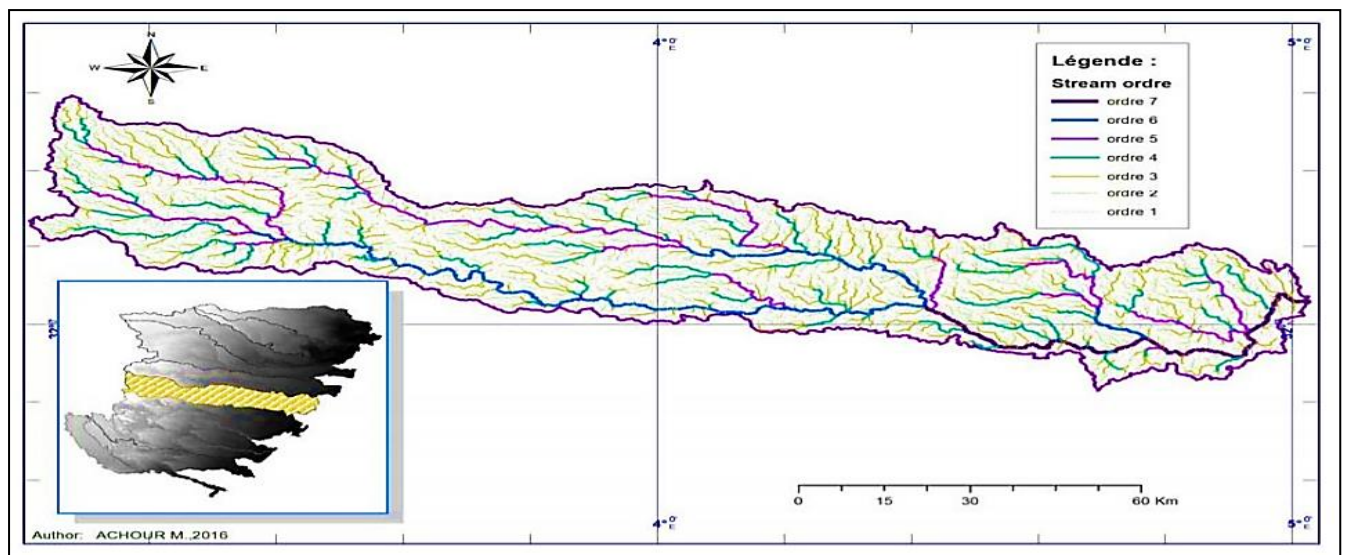
Le nombre de forage captant le CI est 44 forage, 32 forages sont exploitables, a un débit moyen 30-80 l/s, (A.N.R.H, Ghardaïa 2011).

II.11 Exutoire des Aquifères :

Deux exutoires sont retenus ; situés respectivement, en amont et en aval de la ville de Ghardaïa, il s'agit de **Dayet Ben Dahoua** et **El Atteuf**.

II.12.Le réseau hydrographique:

La commune de METLILI est jalonnée par le réseau de l'Oued Metlili, Il draine en grande partie les eaux de la dorsale du M'Zab de l'Ouest vers l'Est, son écoulement est sporadique, il se manifeste à la suite des averses orageuses que connaît la région (DUBIEF 1953).



Le bassin du Metlili, limité à l'oasis du même nom, ne dépasse pas 400 km². Il est mal délimité dans sa partie orientale, appartenant au domaine du Pliocène continental, par suite des caractéristiques très spéciales de cet étage géologique sous cette latitude.

D'une longueur totale de 214 km, l'Oued de Metlili est barré à 134 km de son origine par le cordon dunaire de l'Areg Rhanem. Plus en aval, son lit est parsemé de daïas qui absorbent une partie des eaux de ruissellement dont la plus importante est la Daïa Ghemta (OULD BABA SY 2005).

II.13. Le bassin versant de l'oued Metlili :

Le bassin versant de Metlili couvre une superficie d'environ 400 km². L'oued a pour origine la confluence de deux principaux oueds ; el Botma et Gaa (au méridien 03° 25' Est et le parallèle 32° 23' Nord à une altitude de 650 m), il parcourt environ 270 km de l'Ouest vers l'Est pour atteindre la dépression de Sabkh et Safioune à une altitude de 120 m. (Figure 05 et 06) Comme tous les oueds de la dorsale, l'écoulement est sporadique, se manifestant à la suite des grandes averses orageuses. Pour une fréquence cinquentennale, le débit peut atteindre 500 m³ /s. Les berges sont bien marquées; de pentes abruptes à semi abruptes, entaillées dans les calcaires du Turonien.

Plusieurs affluents rejoignent l'oued dont les principaux ; de l'amont vers l'aval :

Au méridien 03° 31' Est et le parallèle 32° 19' Nord à une altitude de 565 m, l'oued est joint par deux affluents Chabat Ezzebar sur la rive droite et Chaabet El Beida sur la rive gauche. Chaabet Ladjaja conflue avec l'oued sur la rive droite au niveau d'El Hadika.

Plus vers l'Est l'oued reçoit deux grands affluents ; Chaabet El Hadika sur la rive droite, et de Souani sur la rive gauche.

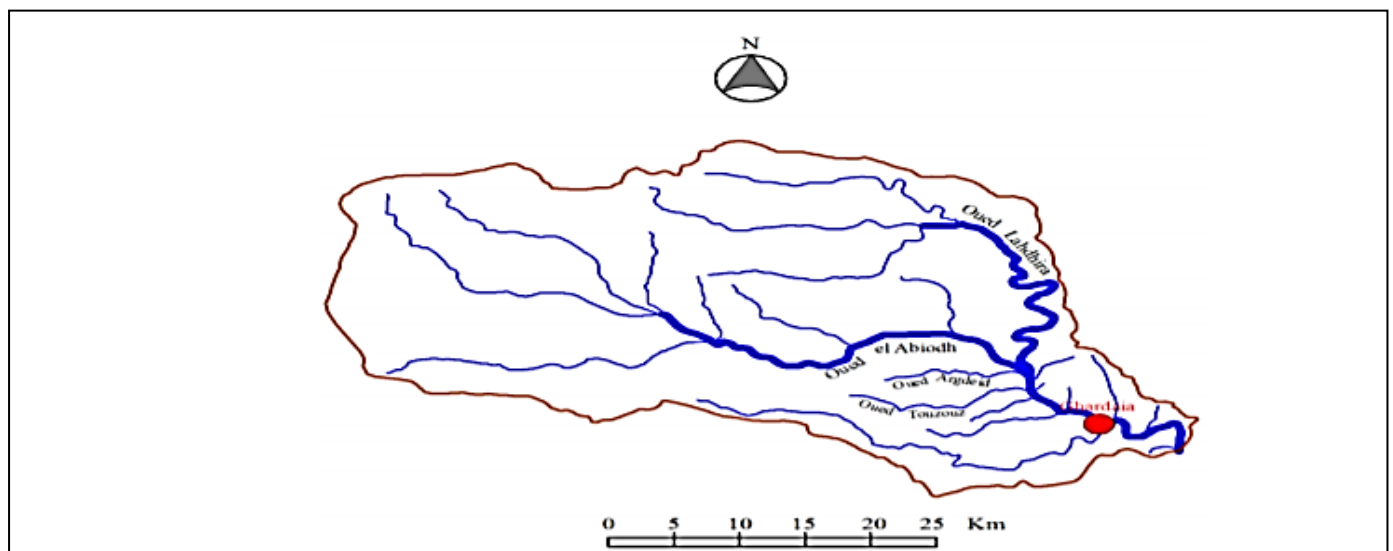


Figure.21: Bassin versant de l'oued METLILI

Cette vallée présente une vulnérabilité très élevée aux risques d'inondations. En absence de jaugeage des débits, un inventaire des crues a permis de montrer qu'il se produit en moyenne de 2 crues par an, d'importance très contrastée en volume et en durée. Les crues importantes se produisent fréquemment de Mars à Mai et de Septembre à Décembre (Medejerab, 2009).

II.14. Alimentation – Ecoulement :

D'une manière générale, les vallées de l'oued de la région sont phréatiques, l'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie et l'écoulement saisonniers des cours d'eau. Il s'agit d'une nappe d'oued, l'alimentation se fait suivant les cycles des crues d'oued Metlili.

Actuellement, le niveau piézométrique est toujours élevé, ceci est dû à l'activité agricole lorsque on utilise les eaux de l'aquifère Albien (retours d'eau d'irrigation), car les agriculteurs l'exploitent peu, en revanche, dans beaucoup de cas les excès et pertes importantes des oueds ajoutent une quantité importante à cet aquifère, notamment ceux de l'oued Metlili, que des fois elles ont un cycle biennal ou annuel.

II.15. LES FORAGES (Foggaras) dans la région de METLILI:

La principale ressource hydrique exploitée dans les régions de Ghardaïa est la nappe souterraine captive du continental intercalaire. Cette nappe est exploitée par des forages.

Les études historiques ont montré la région de METLILI a été exploitée depuis de longs siècles par les systèmes traditionnels des foggaras. Favorisées par les conditions hydrogéologiques de la zone.

Actuellement les principaux forages sont par pompage qui exploite la nappe pour différents usages, que ce soit pour l'irrigation, l'industrie, ou l'alimentation en eau potable (AEP) (ANRH 2016).

Le premier forage exploitant la nappe CI dans la région de Metlili en 1949, situé avec une profondeur de 490m (ANRH de Ghardaïa 2018). Évolution rapide du nombre des forages captant la nappe de l'Albien.

Le nombre qui était de 39 forages en 2011, est passé à 42 en 2016. Il y a 22 forages d'AEP et un seul forage d'AEI et 21 forages pour IRR

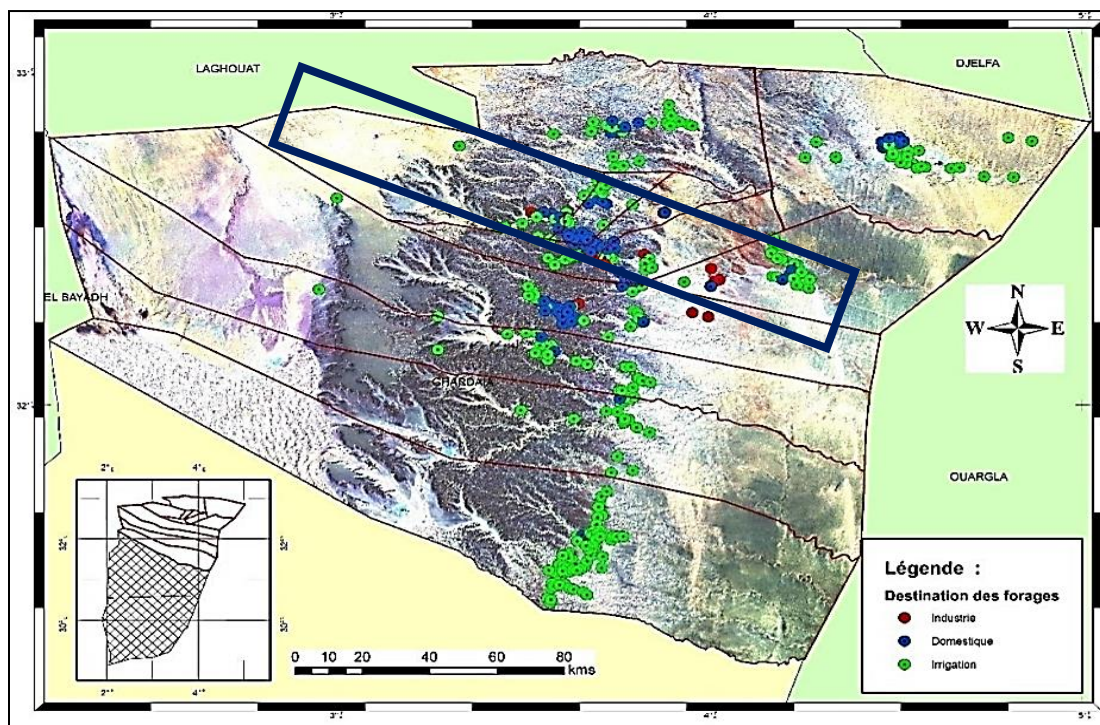


Figure.22. Inventaire des forages d'eau au Nord la région de METLILI

Le premier forage exploitant la nappe CI dans la région de Metlili en 1949, située avec une profondeur de 490m (ANRH de Ghardaïa 2018). Évolution rapide du nombre des forages captant la nappe de l'Albien. Le nombre qui était de 39 forages en 2011, est passé à 42 en 2016. Il y a 22 forages d'AEP et un seul forage d'AEI et 21 forages pour IRR.

Tableau.11 : Nombre des forages et volumes d'exploitation de la zone d'étude

| Région | Nombre de Forages | | | Débit moyen (L/s) | Volume soutire (hm ³ /an) | profondeur moyenne (m) | Destination |
|---------|-------------------|----------|--------------|-------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------|
| | Total | Exploité | Non Exploité | | | | |
| Metlili | 44 | 32 | 12 | 35 | 13.42 | 500 | AEP + IRR |

Avec :

- Débit moyen des forages Exprimé el Litre par seconde
- Volume soutiré par an exprimé en hm³ par an
- Profondeur moyenne des forages exprimée en mètre

Conclusion :

La région de Metlili est caractérisée par deux nappes, la nappe phréatique (Turonien) à 25 m et la nappe continental intercalaire (Albien) comprise entre 275 - 500m. L'aquifère superficielle est formée d'alluvions et de sables du Quaternaire avec une épaisseur peut atteindre 25 à 30 mètres reposent sur les couches calcaires du Turonien fissurés marquées par des épaisseurs de 40 à 100m. Cette nappe d'Infero-flux, exploitée par des puits traditionnels, présente un intérêt très important dans le domaine agricole. L'examen de la carte piézométrique montre que l'écoulement général des eaux de la nappe se fait du nord-ouest vers l'Est, le long du lit de l'oued, il est identique aux écoulements de surface. Important, donc chute de pression de certains forages. La plupart des forages utilisé pour l'irrigation sont captent la nappe Albien a un débit moyen de 80 l/s et ces eaux de la nappe du CI sont bonnes pour la consommation humaine.

CHAPITRE III

ETUDE PHYSICO- CHIMIQUE

Introduction

L'étude physico-chimique est utilisée en général comme un outil de compréhension des eaux au sein des aquifères. Ce qui permet de mieux comprendre l'évolution du chimisme des eaux souterraines, et d'essayer de déterminer l'origine des différents éléments chimiques.

Il est important de mentionner que, le chimisme des eaux dépend principalement, de la nature lithologique des couches géologiques traversées, ainsi que le temps de séjour des eaux. Cette interaction influe largement sur la teneur en ions majeurs.

Les concentrations de ces éléments naturels sont influencées aussi par d'autres facteurs tels que les paramètres climatiques, les activités anthropiques et les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physicochimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence :

- En agriculture : apports de K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apports de Na^+ , K^+ , NO_3^- , Cl^- et quelques métaux lourds.

L'étude géochimique que nous entreprenons a pour objectif de caractériser localement les eaux sur la base de leur potabilité et des problèmes pratiques que certains paramètres hydrochimiques donnent sur chaque point d'eau.

III.1. Analyses Physico-chimiques des eaux de la nappe:

Trois points d'échantillonnage d'eau brute sont choisis pour effectuer les analyses soit :

F.BenDjbline 01 code échantillon : 1959/2019 Commune de Ghardaïa (Pour la comparaison).

F.Souani Code échantillon 3838/2019 Commune de Metlili.

F.Parc Code échantillon : 3437/ 2019 Commune Metlili.

Les analyses ont été effectuées selon la norme : Algérienne relative au décret exécutif N° 11-219

Les différentes analyses des paramètres physico chimiques ont été effectuées au laboratoire de l'ADE de Ghardaïa en 2019. Les analyses concernent les paramètres physiques : potentiel d'Hydrogène (pH), Conductivité Électrique (Cond), Alcalinité et dureté, DBO5.

Les éléments majeurs (Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} et Anions : Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) et les éléments de pollution (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ et PO_4^-).

III.2. Méthode de prélèvement et conservation des échantillons :

Les échantillons ont été prélevés jusqu'à débordement dans des flacons en polyéthylène, rincés au préalable avec de l'eau distillée, puis bouchonnés et immédiatement mis dans une glacière. Les échantillons sont conservés à basse température (4°C) jusqu'au moment de l'analyse qui ne doit pas dépasser 24 h pour le pH, TA, TAC et TH ; 48 h pour la conductivité, les NO_2^- et les PO_4^- , 7 jours pour le SO_4^- ; et enfin plusieurs mois pour le Ca^{+2} et le Mg^{+2} selon J.Rodier (1996).

III.3. Normes Algérienne des eaux potables :

Tableau 12 : Normes algérienne de potabilité des eaux.

| Paramètre | T ($^\circ\text{C}$) | O ₂ Dissous (mg/l) | pH | CE us/cm | SO ₄ ⁻ (mg/l) | Turbidité (NTU) | K ⁺ (mg/l) | PO ₄ ⁻ (mg/l) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Nome Algérienne | 25 $^\circ\text{C}$ | 7 | 8.5 | 2800 | 400 | 35 | 20 | 0.2 |
| Paramètre | Na ⁺² (mg/l) | Ca ⁺² (mg/l) | Mg ⁺² (mg/l) | Amm onium (mg/l) | NO ₂ ⁻ (mg/l) | NO ₃ ⁻ (mg/l) | Cl ⁻ (mg/l) | |
| Nome Algérienne | 200 | 200 | 150 | 0.5 | 0.5 | 50 | 500 | |

III.4. Qualités organoleptiques :

Les caractères organoleptiques sont des paramètres qui doivent être appréciés au moment du prélèvement : certaines odeurs peuvent, par exemple, disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifie au cours du transport et du stockage (apparition d'une coloration, de précipité, etc.).

III.4.1. La Couleur :

Les eaux prélevées et analysées de la Région de Metlili sont incolores ; ne présentant aucune nuance de couleur même à travers une surface blanche.

III.4.2. L'Odeur :

Nos échantillons ne présentent aucune odeur particulière, ceci soutenu plus loin dans notre étude par les tests d'ammonium, phosphates, nitrates et les nitrites qui n'ont donnés aucun résultat remarquable dans les eaux de ces forages.

III.4.3. Le Goût :

D'une façon générale, il est bien difficile de porter un jugement sur la qualité d'une eau par la seule évaluation de la saveur.

Les eaux étudiées n'ont pas de goût spécifique ni saveur particulière. En dehors de la salinité, une saveur désagréable peut révéler la présence de substance indésirable dont il importera de préciser l'origine. Dans notre cas on a pas détecter de saveur saline .

III.5. Qualité physique des eaux de la nappe Albienne :

III.5.1. Température de l'eau:

Elle joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux.

Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Selon les valeurs observées, les températures moyennes de l'eau varient entre 26 et 26.5°C ce qui reflète la période de prélèvement (Aout à Septembre 2019).

Les températures de l'eau de la nappe CI sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. Elles dépassent légèrement la norme algérienne de l'eau potable (25°C).

III.5.2. Le potentiel d'hydrogène (pH):

Le pH correspond à la concentration d'ions hydrogènes $[H^+]$, il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau, $pH = \log [1/ [H^+]]$.

Dans notre région d'étude, les valeurs du pH varient entre 7.79 et 7,50 ce qui renseigne sur la neutralité de ces eaux.

Ces résultats se trouvent dans l'intervalle de norme de potabilité (d'après les normes Algérienne)

III.5.3. Conductivité électrique :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes.

La conductivité permet donc une estimation de la minéralisation des eaux.

On sait qu'une eau salée est très conductrice, par contre une eau pure est très résistante.

La conductivité électrique est liée à la présence des espèces ioniques en solution. Les valeurs de mesure de ce paramètre (in situ) pendant les mois d'Aout et de Septembre dans nos points de prélèvements montrent des valeurs allant de **1687 à 1759 $\mu S/cm$** à des températures d'échantillon, qui avoisinait les 26°C.

Les résultats obtenus reflètent une eau potable qui ne dépasse pas la norme Algérienne qui est de 2800 $\mu s/cm$.

III.5.4. Salinité TDS :

La salinité exprime la dissolution des sels dans les eaux, on remarque à partir de nos analyses que la salinité varie entre 862 et 939 mg/l.

III.5.5. La Turbidité:

Les prélèvements d'eaux de la région de Metlili donnent une turbidité inférieure à la norme, ce qui signifie que la matière en suspension est très faible 0.284 et 0.359 (NTU) (Néphélobimétrie Turbidité Unit).

III.6. Paramètres de pollution des eaux de la nappe :

III.6.1. Nitrites (NO₂⁻) :

Les nitrites représentent la forme du passage entre les nitrates et l'ammonium. Il s'agit d'une forme toxique. Dans l'ensemble, les teneurs en nitrites dans les eaux de notre secteur d'étude sont négligeables et inférieures à 0.1 mg/l.

III.6.2. Phosphates (PO₄⁻):

Les dosages n'ont pas détecté cet élément dans les eaux de la nappe du CI dans notre région d'étude.

III.6.3. Nitrates :

Dans l'ensemble, les teneurs en nitrates des eaux de notre zone d'étude sont faibles et potables vis-à-vis des nitrates.

III.7. Minéralisation globale :

III.7.1. Les cations :

III.7.1.1. Le Calcium (Ca²⁺) :

La présence des ions Ca⁺⁺ dans l'eau indique, soit une dissolution des formations carbonatées, calcite (CaCO₃), dolomie [(Ca,Mg)CO₃] ou bien la dissolution des formations évaporitiques, gypse [CaSO₄, 2(H₂O)] et anhydrite (CaSO₄).

Dans nos points de prélèvements les résultats d'analyse de ce paramètre sont compris entre 100,32 mg/l et 189,17 mg/l. comparativement aux normes Algérienne de potabilité, ces eaux restent dans les normes vis-à-vis du Calcium.

III.7.1.2. Le Magnésium (Mg²⁺):

Le magnésium est un élément très répandu dans la nature (2.1% de l'écorce terrestre).

C'est un constituant essentiel de différentes roches ignées noires ferromagnésiennes. Dans les roches sédimentaires ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium comme la magnésite et la dolomite (Merkel and Sperling, 1996).

Les concentrations observées au niveau de la zone étudiée sont comprises entre 41,79 et 74,84 mg/l, ce qui reflète encore une fois une eau potable.

III.7.1.3. Ion Sodium et ion Potassium (Na⁺⁺, K⁺):

L'eau contient toujours du Sodium, qui provient du lessivage des formations géologiques riches en Na Cl, ou bien de dissolution des formations argileuses et marneuses. Les valeurs de Na⁺⁺ présent dans notre région d'étude dépassent les 250 mg/L admissibles et rend ces eaux non potables vis-à-vis le Sodium.

Contrairement au Potassium qu'on trouve difficilement dans l'eau, sa valeur dans la région d'étude précisément au niveau du F.Souani Metlili est de 7.114 mg/L.

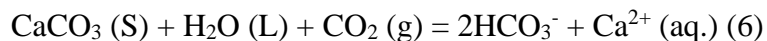
III.7.2. Les anions :

III.7.2.1. Les chlorures :

Dans les eaux souterraines on rencontre les chlorures en grande quantité, qui proviennent de la dissolution et de lessivage des terrains salifères, leurs valeurs dans la région d'étude sont de 241,62 et 482,16 mg/l qui représentent des valeurs au dessous de la norme Algérienne qui est de 500 mg/l. Donc les eaux souterraines de la région de Metlili sont potables vis-à-vis les chlorures.

III.7.2.2. Les bicarbonates :

La présence des bicarbonates dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire) par des eaux chargées en gaz carbonique. La somme des équations de dissolution est donnée comme suit :



Les concentrations observées au niveau de la zone de Metlili comprises entre 126,88 et de 258,64 mg/l contre une concentration de 207.4 mg/l dans le F.Ben Djbline Ghardaïa. Les valeurs enregistrées sont loin des concentrations Algériennes admissibles pour les eaux potables.

III.7.2.3. Alcalinité :

Elle est en relation avec le pH de l'eau et liée à la présence de bases fortes (Carbonates et alcalin) et de bases faibles (bicarbonates). Nous pouvons distinguer deux types d'alcalinité qui correspondent à deux bornes de pH : - le titre alcalimétrique (TA) : qui représente la quantité de bases fortes.

- Le titre alcalimétrique complet (TAC): qui correspond aux bases faibles et aux bases fortes.

A partir des valeurs du pH mesurés, on peut déduire que : - Le TA = 0 pour l'ensemble de nos prélèvements du fait que le pH ne dépasse pas 8.3 (Rodier, 2009).

La mesure du titre alcalimétrique complet TAC au niveau du F.Souani -Metlili a donné une concentration de 168.36 mg/l CaCO₃.

III.7.2.4. La dureté totale TH:

Elle traduit la somme des teneurs en calcium et magnésium exprimée en degré français (°F), la dureté des eaux des forages de la région d'étude se situe entre 508 et 512 mg/l CaCO₃, par conversion cela nous donne environ 50°F et donc ces teneurs traduisent des eaux relativement dures supérieures à la norme OMS (30°F).

III.7.2.5. Les sulfates (SO₄⁻) :

Leurs valeurs des sulfates dans la région d'étude comprises entre 411,550 et 599,600 mg/l se sont donc des valeurs qui dépassent largement la norme Algérienne qui est de 400 mg/l. Les eaux de la région ne sont pas potables vis-à-vis les sulfates.

III.8. Les paramètres indésirables (Le fer):

Le fer est absent ou de très petite quantité (jusqu'à 0.006 et 0.024 mg/l). Ces valeurs sont largement inférieures à la norme Algérienne de potabilité qui est de 0.3 mg/l.

III.9. Renforcement des nos résultats obtenus par 16 autre analyses des eaux de la nappe Albienne de seize autres forages de la région de METLILI:

Nos échantillons ont été effectués à partir de seize forages de la région de METLILI durant le mois de MAI 2018 ; Les analyses ont été effectués au niveau du LABORATOIRE DE L'ADE dont les résultats physico chimiques sont représentés dans le tableau ci-dessous :

| forages | T | PH | Cond. $\mu\text{s/cm}$ | Turb. NTU | TH mg/l | TAC °F | Ca ²⁺ mg/l | Mg ²⁺ mg/l | Na ⁺ mg/l |
|---------|-------|------|-------------------------------|-----------|---------|--------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| | PH | 8.5 | à 20° C 2800 $\mu\text{S/cm}$ | 35 | 200 | - | 200 | 150 | 200 |
| F1 | 26.1 | 7.86 | 1406 | 1.12 | 597 | 163.5 | 165.12 | 45.00 | 171.420 |
| F2 | 26 | 7.81 | 1679 | 3.07 | 569 | 137.9 | 139.47 | 54.00 | 157.140 |
| F3 | 26.4 | 7.85 | 1392 | 0.40 | 574 | 10.4 | 136.27 | 57.00 | 150.500 |
| F4 | 26.3 | 7.65 | 1585 | 9.99 | 628 | 14.6 | 128.25 | 74.84 | 121.429 |
| F5 | 26.05 | 7.65 | 1550 | 0.67 | 504 | 14.6 | 115.43 | 73.87 | 220.000 |
| F6 | 26 | 7.22 | 1870 | 5.52 | 680 | 21.2 | 160.32 | 68.04 | 150.000 |
| F7 | 26.4 | 7.38 | 1306 | 0.35 | 452 | 17.0 | 112.22 | 41.79 | 280.700 |
| F8 | 25.9 | 7.42 | 1425 | 0.34 | 492 | 15.4 | 117.03 | 48.60 | 300.000 |
| F9 | 26.5 | 7.46 | 1373 | 0.36 | 504 | 15.2 | 115.43 | 52.48 | 290.600 |
| F10 | 26.15 | 7.72 | 1715 | 0.44 | 544 | 15.2 | 128.25 | 54.40 | 205.000 |
| F11 | 26.4 | 7.58 | 2060 | 0.32 | 704 | 13.2 | 173.14 | 66.09 | 256.250 |
| F12 | 26 | 7.52 | 1411 | 0.80 | 496 | 14.8 | 128.25 | 42.76 | 281.250 |
| F13 | 26.25 | 7.81 | 1370 | 0.56 | 572 | 13.4 | 157.11 | 43.74 | 235.000 |
| F14 | 26.6 | 7.75 | 1562 | 0.62 | 56 | 13.4 | 147.49 | 46.65 | 240.000 |
| F15 | 26 | 7.56 | 1610 | 1.30 | 624 | 13.4 | 100.32 | 62.40 | 300.000 |
| F16 | 26.3 | 7.62 | 1994 | 0.59 | 716 | 13.8 | 189.17 | 71.60 | 280.500 |

Tableau 13 : Analyses physico-chimiques de 16 points d'échantonnage à partir de seize Forages de la région de METLILI. Laboratoire ADE MAI 2018

| forages | K ⁺ mg/l | Cl ⁻ mg/l | SO ₄ ²⁻ mg/l | HCO ₃ ⁻ mg/l | NO ₃ ⁻ mg/l | NO ₂ ⁻ mg/l | Fe ²⁺ mg/l | NH ₄ ⁺ mg/l | PO ₄ ³⁻ mg/l |
|---------|---------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | 20 | 500 | 400 | 500 | 50 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.2 |
| F1 | 20 | 241.62 | 463.320 | 163.48 | 0.00 | 0.000 | 0.007 | 0.012 | 0.024 |
| F2 | 18 | 241.62 | 430.000 | 187.88 | 0.00 | 0.012 | 0.019 | 0.006 | 0.033 |
| F3 | 10 | 245.60 | 450.300 | 126.88 | 0.11 | 0.000 | 0.003 | 0.000 | 0.045 |
| F4 | 18 | 269.44 | 435.700 | 178.12 | 0.00 | 0.048 | 0.038 | 0.011 | 0.033 |
| F5 | 9 | 277.95 | 450.000 | 178.12 | 2.40 | 0.034 | 0.016 | 0.024 | 0.023 |
| F6 | 21 | 282.20 | 470.500 | 258.64 | 5.23 | 0.045 | 0.189 | 0.161 | 0.000 |
| F7 | 13.75 | 241.08 | 490.990 | 207.40 | 1.90 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| F8 | 8.75 | 273.69 | 530.990 | 187.88 | 0.90 | 0.000 | 0.057 | 0.002 | 0.000 |
| F9 | 8.75 | 277.95 | 550.320 | 185.44 | 1.09 | 0.000 | 0.052 | 0.002 | 0.000 |
| F10 | 8.75 | 279.36 | 499.320 | 185.44 | 2.04 | 0.000 | 0.048 | 0.012 | 0.000 |
| F11 | 8.75 | 420.60 | 509.900 | 161.04 | 0.90 | 0.000 | 0.031 | 0.002 | 0.000 |
| F12 | 11.25 | 283.62 | 488.200 | 180.56 | 0.06 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F13 | 11.25 | 351.69 | 504.300 | 163.48 | 9.76 | 0.004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F14 | 11.25 | 340.34 | 411.550 | 163.48 | 9.30 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F15 | 10.00 | 409.83 | 599.600 | 163.48 | 2.30 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| F16 | 12.50 | 482.16 | 517.320 | 168.36 | 1.05 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

Tableau 14 : Analyses physico-chimiques de 16 points d'échantonnage à partir de seize Forages de la région de METLILI. Laboratoire ADE MAI 2018

Selon Les analyses effectués sur les 16 forages de la région de METLILI durant le mois de MAI 2018 ; on observe que l'ensemble des paramètres analysés présentent des valeurs comprises dans le domaine de la potabilité soit le : PH ; Conductivité , Turbidité

Hors les températures comme aussi pour le cas de nos 3 échantillons dans le travail antécédant présentent une légère fluctuation ceci expliqué par l'influence de la profondeur.

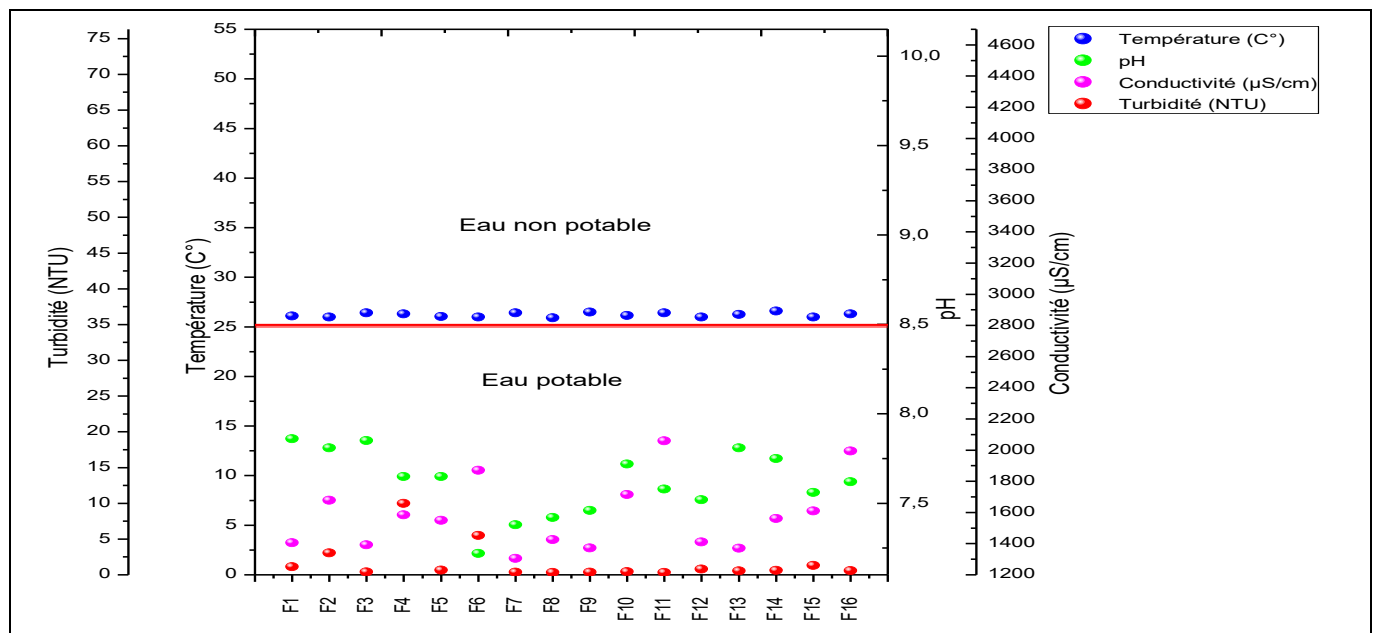


Figure 23: Qualité physique des eaux de la nappe (Mai 2018).

A partir de l'analyse des paramètres de pollution (NO_3^- , NO_2^- ; PO_4^-) des échantillons des seize forages de la nappe Albienne de la région de Metlili nous avons constaté que l'ensemble des paramètres comprennent des concentrations se localisant dans le domaine de l'eau potable soutenant ainsi nos résultats précédant .

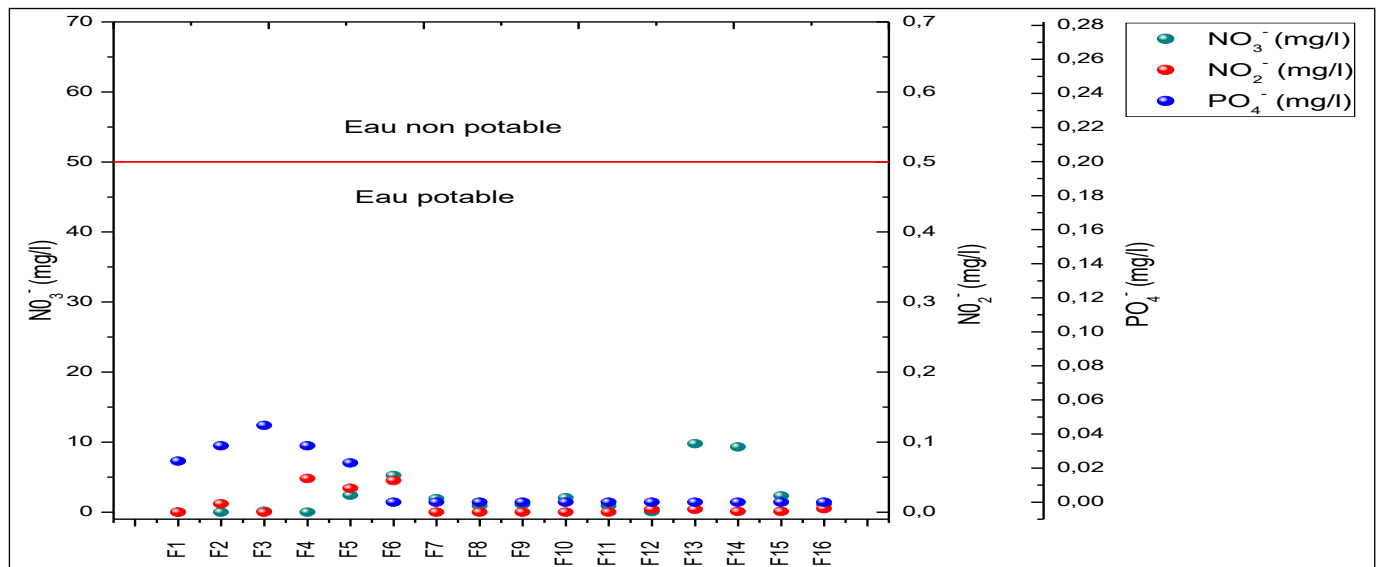


Figure.24 : Paramètres de pollution des eaux de la nappe (Mai 2018)

Les résultats des analyses des concentrations des Cations (K^+ ; Mg^{2+} ; Ca^{2+}), démontrent que encore une fois les eaux de la nappe Captive de la région de METLILI sont bien potable.

Les analyses ont révélé que pour quelques échantillons les concentrations du Na^+ sont supérieures à la norme Algérienne de potabilisation.

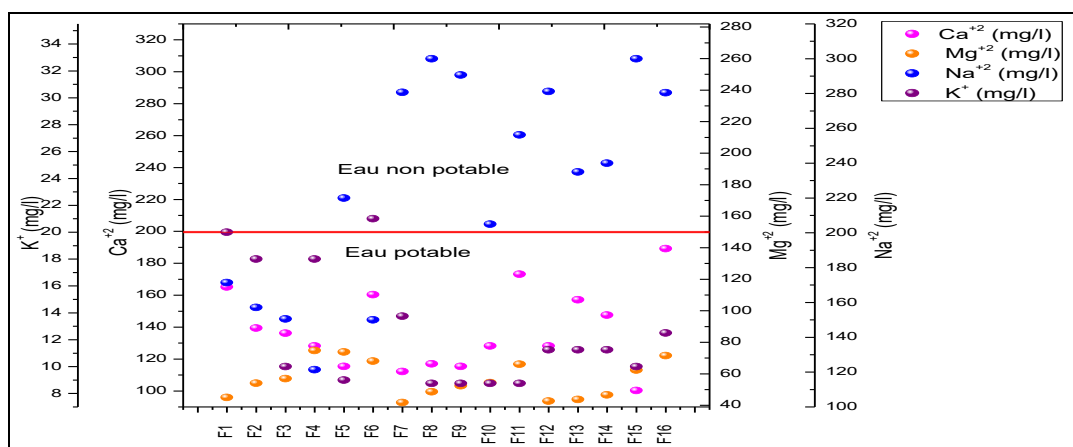


Figure.25 : La qualité des eaux vis-à-vis les cations (Mai 2018).

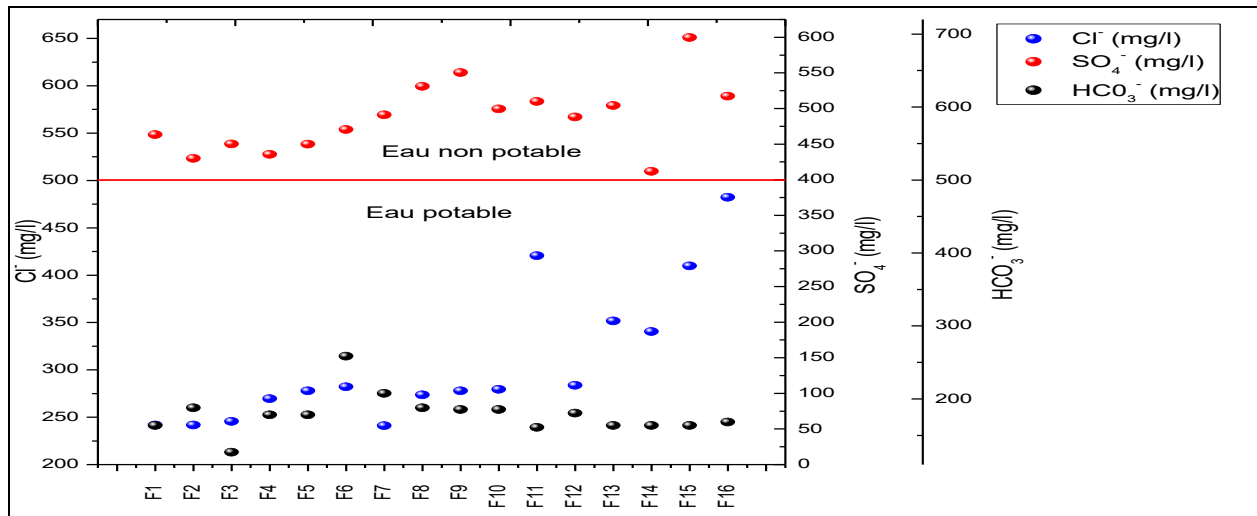


Figure.26 : La qualité des eaux vis-à-vis les anions (Mai 2018).

A partir des analyses des anions nous avons constaté à partir de ces résultats que : les cl- et HCO₃- Sont inférieurs à la norme Algérienne de potabilisation .

Pour les Anions SO₄- les concentrations sont supérieurs à la norme est donc les eaux de la nappe profonde de la region de METLILI sont non potable vis-à-vis de ce paramètre.

Enfin dans la figure ci-dessous (figure N° 26) nous avons constaté que pour l'élément Fer ; l'eau est potable malgré des concentrations très contrastés ceci peut être expliqué par la géolithologie différentes d'un forage à un autre.

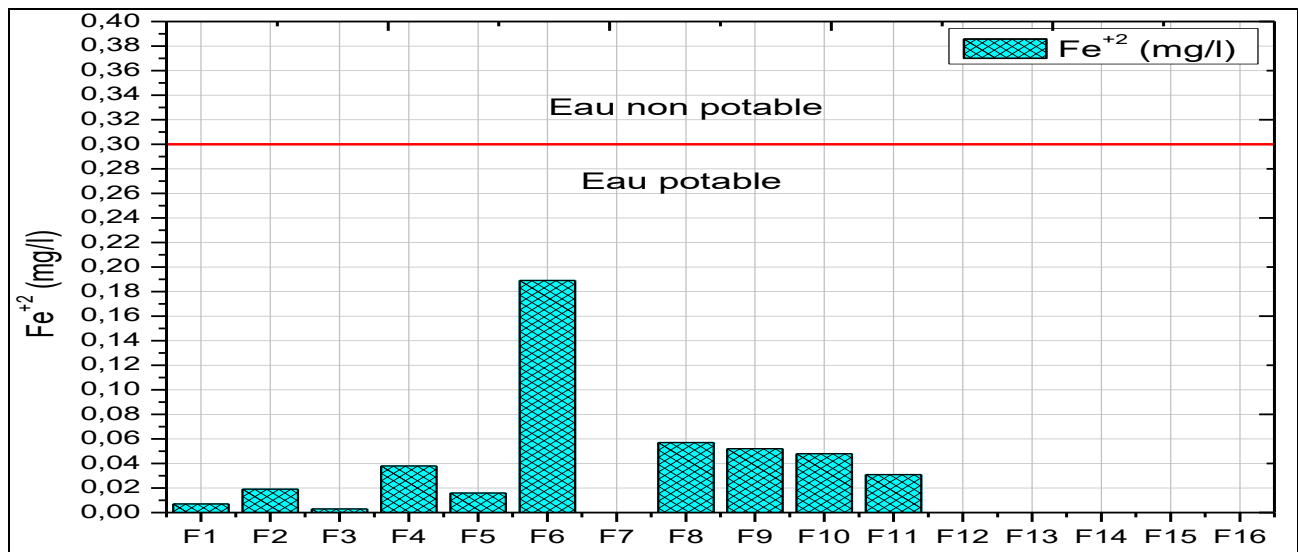


Figure.27: La qualité des eaux vis-à-vis le Fer (Mai 2018).

III.10. Classification des eaux de la région de Metlili:

Plusieurs méthodes de classification des eaux naturelles ont été proposées par divers auteurs. Dans le cadre de cette étude, seulement la classification de Stabler, la classification de Piper, ont été prises en considération.

Dans le but de bien identifier les faciès hydrochimiques et d'avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyses s'avère un outil inévitable. Pour atteindre cet objectif, on a eu recours au diagramme de Piper et de Stabler. La réalisation de ces diagrammes a été faite en utilisant le logiciel Diagrammes.

Ne perdons pas de vue, que de telles représentations, nous permettent une identification du ou des faciès qui caractérisent ces eaux.

La formule caractéristique de STABLER consiste à calculer le pourcentage de chaque ion par rapport à la concentration totale.

On obtient la quantité en réaction chimique pour cent r %, puis on classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant de gauche à droite.

Les résultats obtenus permettent de distinguer que le faciès caractérisant les eaux dans nos deux points d'échantillonnage est le faciès Sulfaté sodique et sulfaté calcique .

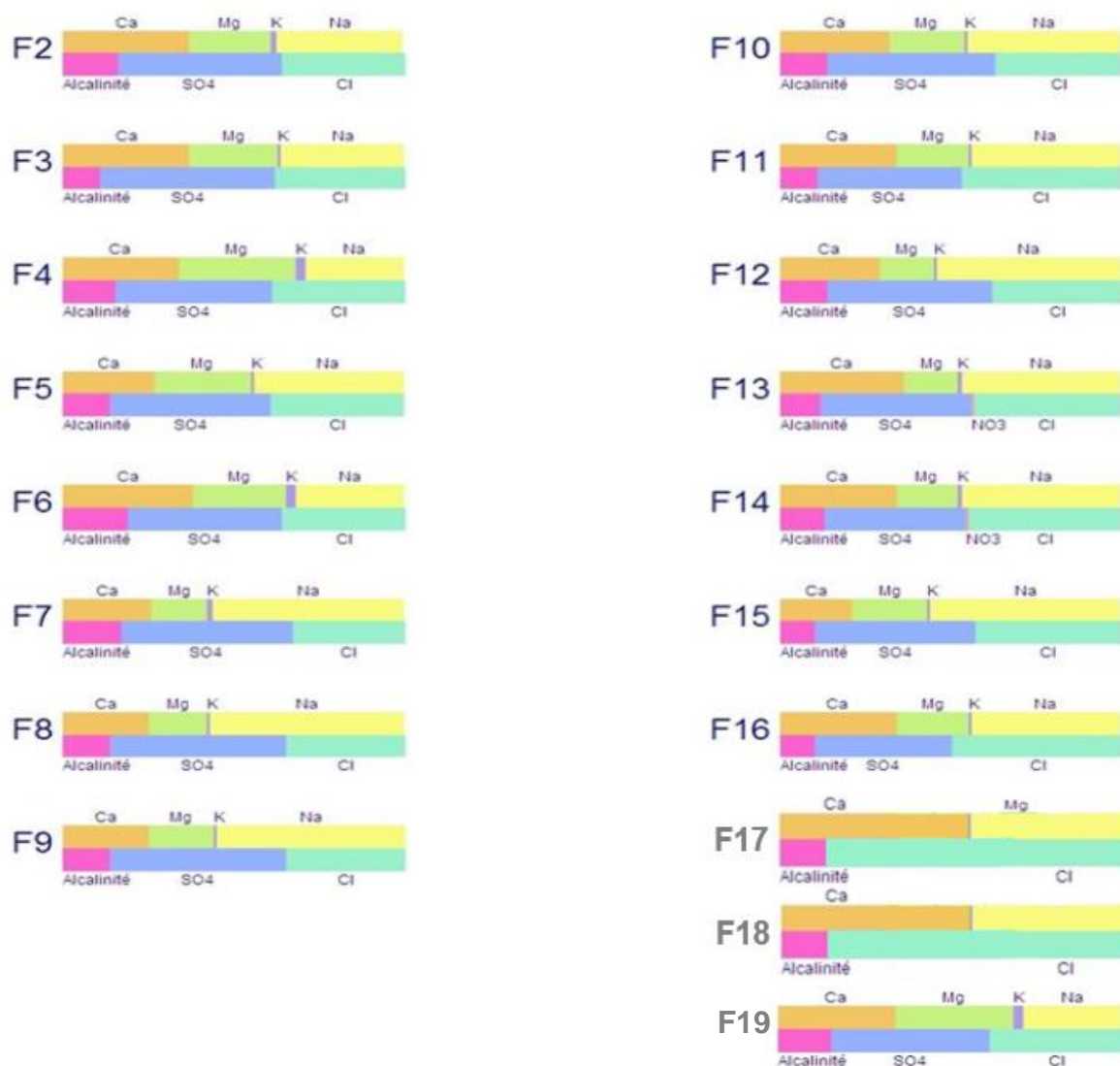


Figure.28: Diagramme de STABLER caractérisant le faciès dominants pour l'ensemble des échantillons étudiés (16 échantillons 2018 ; 3 échantillons 2019) dans la région de METLILI.

III.10.2. Diagramme de Piper :

Cette méthode est basée sur la représentation des résultats des analyses chimiques sur le diagramme de Piper qui permet de classer et comparer les eaux entre elles.

Le diagramme nous permet de représenter des anions et des cations sur deux triangles spécifiques dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au total de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle de droite).

La position relative d'un résultat analytique sur chacun de ces deux triangles permet de préciser en premier lieu la dominance anionique et cationique.

A ces deux triangles, est associé un losange sur lequel est reportée l'intersection des deux lignes issues des points identifiés sur chaque triangle. Ce point intersection représente l'analyse globale de l'échantillon, sa position relative permet de préciser le faciès de l'eau minérale concernée.

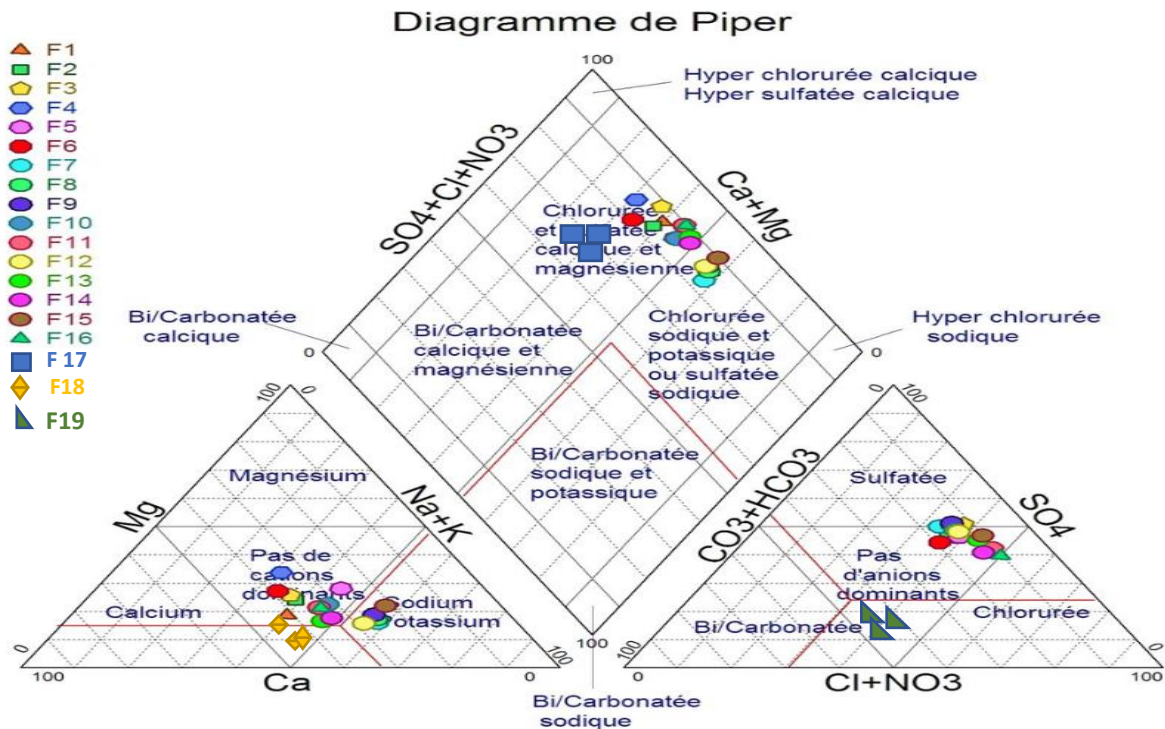


Figure.29: Faciès chimique des eaux de l'aquifère ancien région Metlili selon le diagramme de Piper.

Les résultats d'analyses des eaux de la région de Metlili montrent l'existence d'un faciès hydro chimiques qui est dominant dans toute la région, le faciès sulfaté sodique sur les forages de F.Souani et F.Parc .

Le report des points d'eau sur le diagramme de Piper (Figure24.) montre que le regroupement des points est en majeure partie sur les losanges des familles :

- Sulfaté sodique et sulfaté calcique.

III.11. Qualité des eaux de la nappe Albienne selon les normes de l'OMS et les normes Algériennes :

Du point de vue consommation, les analyses chimiques d'échantillons, présentés dans le tableau comparatif avec les normes nationales et les normes de l'OMS, montrent que les eaux de Metlili ne sont pas trop chargées, car pour la majorité des paramètres analysés ces derniers ne dépassent pas les normes de l'OMS et les normes Algériennes.

La comparaison des quantités de minéraux contenus dans les eaux de la région et les normes nationales et celles de l'OMS montre que ces eaux sont bonnes pour la consommation.

Tableau.15: Comparaison entre l'eau de la région de Metlili et celle de la région de Ghardaïa et la réglementation nationale et de l'OMS.

| Localités | Quantités (mg/l) | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ²⁺ | K ⁺ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | NO ₃ ⁻ |
| Ghardaia | 131 | 69 | / | / | 324 | / | 207 | / |
| Metlili F1 | 117 | 53 | 132 | 7 | 248 | / | 168 | / |
| Metlili F2 | 118 | 51 | / | / | 260 | / | 146 | / |
| Normes nationales | 100 | 200 | 150 | 12 | 200 | 250 | 500 | 50 |
| Normes de l'OMS | 100 | 250 | 200 | / | 250 | 400 | / | 44 |

On observe à partir cette graphique que les anions sont les éléments dominants dans les eaux de Metlili.

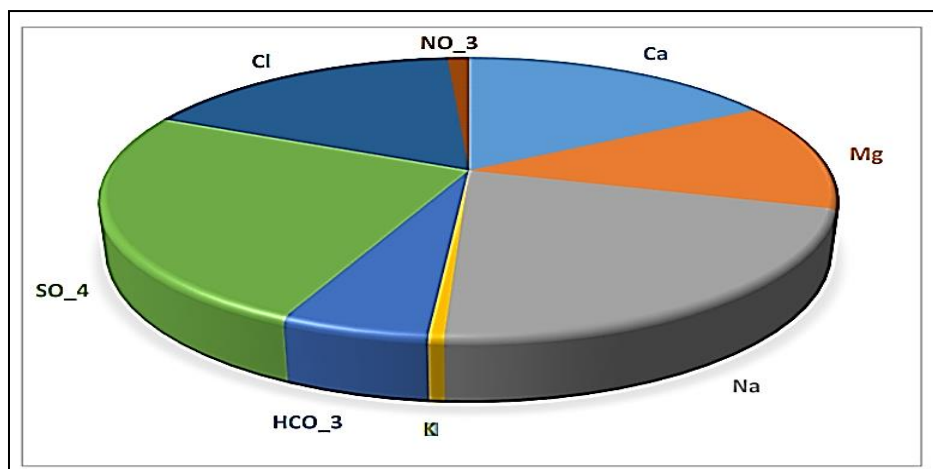


Figure.30 : Les pourcentages des éléments chimiques de la région de Metlili.

III.12. Le Fluorure:

III.12.1. Definition

En raison de sa grande réactivité, le fluor ne se présente pas à l'état élémentaire dans la nature mais plutôt sous forme de sels que l'on regroupe sous le terme générique de fluorures (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1993).

La particularité des fluorures tient au fait qu'il existe, pour cette substance, une norme et une concentration optimale. La première sert à protéger la population contre les risques des fluorures (fluorose dentaire et osseuse) (1,5 mg/l) alors que la seconde assure une teneur en fluorures qui permet de profiter de ses effets bénéfiques (prévention de la carie dentaire) (0,7 mg/l).

III.12.2. Sources :

Les fluorures peuvent être présents, dans des concentrations variables, de façon naturelle dans l'eau souterraine et de surface par dissolution des dépôts minéraux contenant du fluor (ex. : la cryolithe, la fluorine et la fluorapatite).

Une région géographique peut naturellement avoir du fluor dans ses eaux de boisson. De même, on peut aussi rajouter artificiellement du fluor dans les eaux de boisson d'une région qui en est dépourvue.

Les fluorures sont également utilisés dans la fabrication de produits chimiques (engrais phosphatés et acide phosphorique). Les rejets industriels peuvent donc également contribuer à l'enrichissement en fluorures des milieux hydriques (Santé Canada, 1997).

III.12.3. Normes pour le fluor :

Il y a pour chaque eau de boisson un seuil en fluor à ne pas dépasser, au risque d'être toxique pour la consommation humaine:

Selon l'OMS 0.8-1.7 mg/l

Norme Française 1mg/l

Norme CEE 0.7-1.5 mg/l

III.12.4. Le taux de fluorure dans la Wilaya de Ghardaïa :

Au niveau de la nappe phréatique le taux du fluor est estimé entre 0.2 à 1.30 mg/l, et une concentration entre 1.10 et 1.25 mg/l au niveau de Nappe albienne.

III.12.5. La fluorose:

A petites doses (1mg/l dans l'eau de boisson), le fluor favorise la santé dentaire : la fréquence des caries et le nombre de cavités diminuent et la dégénérescence est plus lente.

À des concentrations > 1.5 mg/l favorise la fluorose dentaire ; il apparaît souvent sous forme d'une modification de l'émail dentaire provoquant des tâches jaunes ou marron, ou bien alors une apparence opaque crayeuse avec des stries ou des piqûres.

Ce phénomène est connu sous le nom de 'Darmou' dans le Sud d'Algérie ou l'émail tâcheté.

Une concentration supérieure à 5mg/l, peut provoquer la perte des dents et provoquer la fluorose osseuse caractérisée par une hypercalcification des os.

L'exposition prolongée à une concentration en ions fluorure supérieure à dix fois la norme admise représente un danger important d'intoxication.

Lors de l'ingestion d'ions fluorures, on observe, dans l'ordre, l'apparition de taches sur les dents en voie de formation, des altérations des tissus osseux (ostéopétrose, ostéoporose) et diverses altérations organiques.

Tableau.16: Pourcentage d'habitants atteints de fluorose dentaire au sud algérien D'après l'INSP (Aroua, 2011)

| Localité | Pourcentage (%) |
|-------------------|-----------------|
| Ouargla | 44 |
| Touggourt (ville) | 18 |
| M'riar | 45 |
| Djemaa | 36 |
| El-Oued (ville) | 20 |
| Ghardaïa | 1,3 |
| Laghouat | 3,2 |
| El-Goléa | 2,5 |

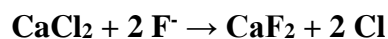
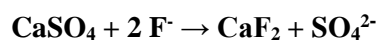
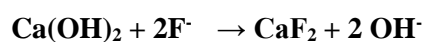
III.12.6. Les méthodes de défluoruration :

III.12.6.1. Les méthodes classiques:

- Par précipitation
- Par coagulation floculation
- Par les Résines échangeuses d'ions (REI) ; et enfin Par Adsorption

a) Elimination Par Précipitation (I):

Les sels de calcium comme Ca(OH)_2 ; CaCl_2 et CaSO_4 sont les plus utilisés pour précipiter les ions fluorures sous forme d'un produit insoluble CaF_2 (fluorine) dans l'eau. Les réactions mises en jeu sont les suivantes :



Les différentes étapes cinétiques étant :

- ◆ Une période de germination
- ◆ Une période de précipitation proprement dite
- ◆ La séparation des précipités formés

Les installations de traitement devront être conçues pour augmenter ces trois vitesses et réaliser le maximum d'opérations dans le même appareil.

b) Par coagulation Flocculation (Technique de Nalgonda):

- $3 \text{ Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O} + \text{NaF} + 9 \text{ Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow [5 \text{ Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{Al}(\text{OH})_2\text{F}] + 9 \text{ Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaHCO}_3 + 8 \text{ CO}_2 + 45 \text{ H}_2\text{O}$
- $3 \text{ Al}_2 (\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{ H}_2\text{O} + \text{NaF} + 17 \text{ NaHCO}_3 \rightarrow [5 \text{ Al}(\text{OH})_3 \cdot \text{Al}(\text{OH})_2\text{F}] + 9 \text{ Na}_2\text{SO}_4 + 17 \text{ CO}_2 + 54 \text{ H}_2\text{O}$

Inconvénients :

L'eau doit être riche en magnésium et faiblement fluorée (pour les sels de calcium)

- Production de boues non négligeables
- Difficulté de mise en œuvre
- La technique de Nalgonda est efficace lorsque l'eau traitée présente une concentration en fluorures au-dessus de 20 mg/l, des matières dissoutes au-dessus de 20 mg/l, et une dureté au-dessus de 250 mg/l de CaCO_3 .

c) Elimination des fluorures par échange d'ions :

L'échange d'ions est un procédé qui utilise des résines ioniques ayant une affinité pour l'ion fluorure. Les résines actuelles sont malheureusement souvent peu spécifiques ; on fixera mieux les ions monovalents OH^- et les ions divalents SO_4^{2-} que les ions F.

Inconvénients:

- Les résines préparées perdent leur activité après plusieurs utilisations.
- Les problèmes de coûts de régénération des résines limitent fortement l'utilisation de ce procédé
- N'est applicable que pour les eaux faiblement fluorurées.

d) Elimination des fluorures par Adsorption :

Quatre procédés sont possibles :

- Adsorption sur charbon actif
- Adsorption sur phosphates d'aluminium
- Adsorption sur la serpentinite/ argiles
- Adsorption sur alumine activée

e) Elimination des fluorures par Adsorption sur alumine activée :

$=Al OH + F^- \Leftrightarrow =AlF + OH^-$; (pH de la solution > 7).

Il y a relâchement des ions OH^- et fixation des ions F^- .

$=AlOH_2 + F^- \Leftrightarrow =AlF + H_2O$; (pH de la solution < 6).

Il n'y a pas de relâchement d'ions.

III.12.6.2. Les nouvelles techniques :

A) Les techniques à membrane comprenant :

- L'osmose inverse,
- L'électrodialyse,
- La nanofiltration

Inconvénients:

- Minéralisation excessive
- Nécessite des prétraitements 'pour éliminer les calciums.

B) Les procédés électrochimiques :

- L'électrolyse bipolaire
- L'électro-sorption

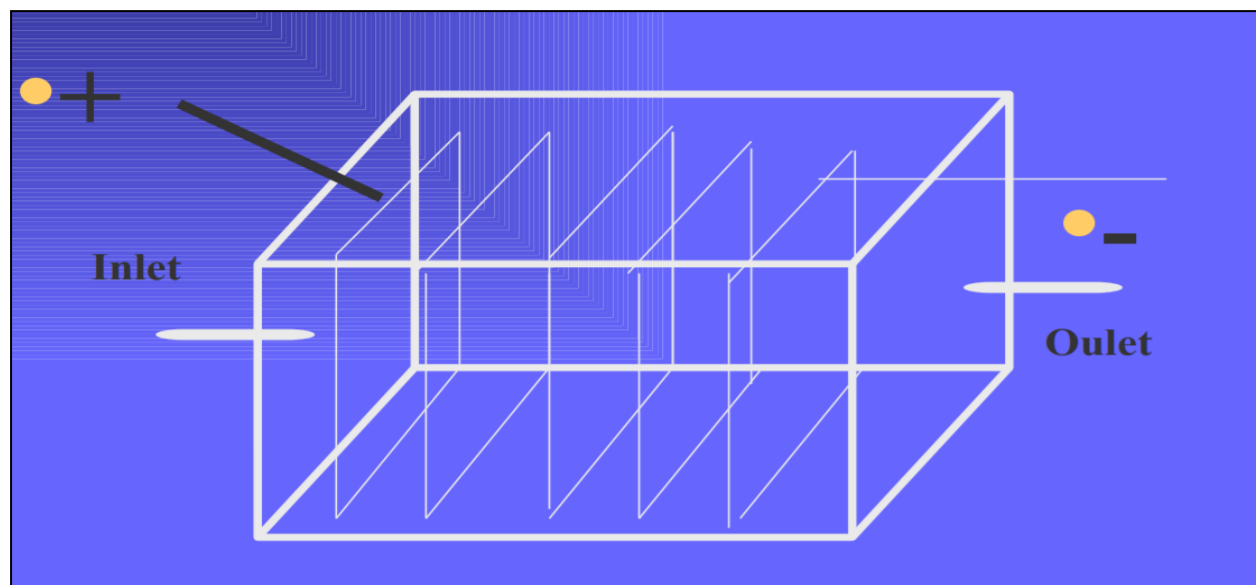


Figure.31:schématisation de L'électrolyse bipolaire

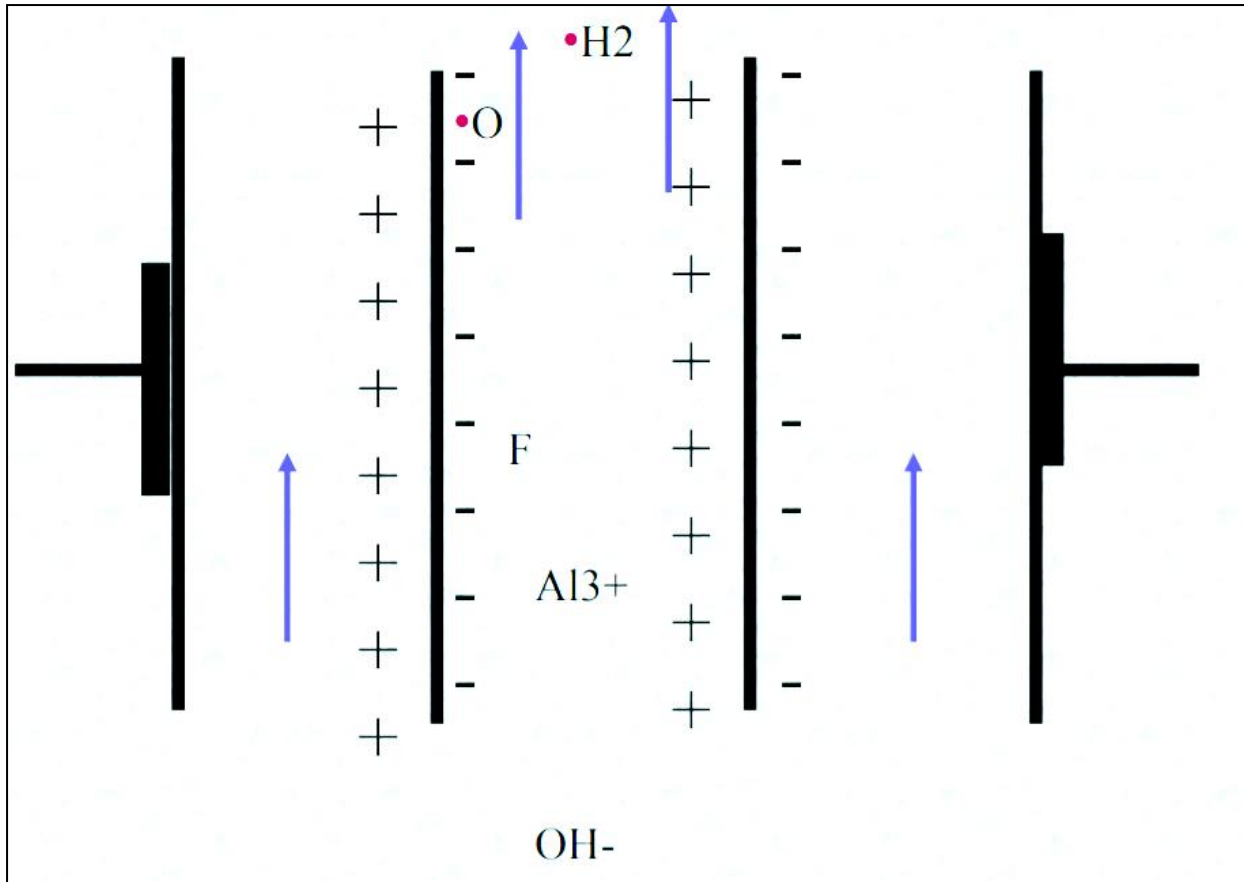


Figure.32 : Schématisation de L'électro-sorption

Avantages

- Méthode spécifique
- Les boues obtenues sont compactes
- Procédé en continu
- Ce procédé n'enrichit pas l'eau en éléments chimiques.

C) Couplage des deux méthodes électrochimiques : L'électrolyse bipolaire+ L'électro-sorption

Avec le couplage des deux procédés électrochimiques nous obtenons une méthode de défluoruration tel que présentée dans la figure.27Présentant plusieurs avantages :

Amélioration de près de 60 % par rapport à l'adsorption classique

- Une qualité d'eau appréciable
- Facilité d'utilisation

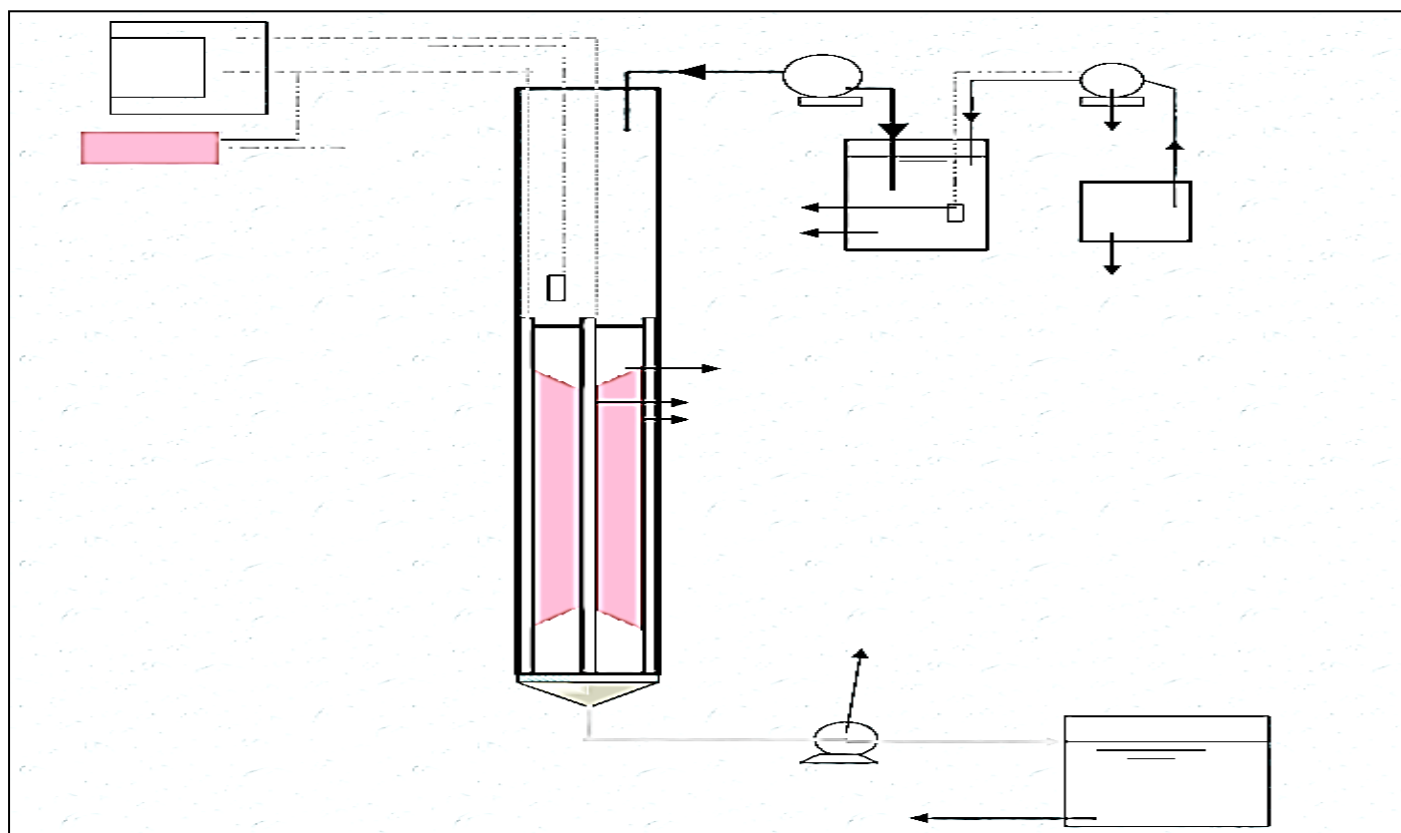


Figure.33: procédé de fluoruration avec couplage L'électrolyse bipolaire+ L'électro-sorption

Conclusion :

Les eaux de continental intercalaire sont de faciès sulfaté calcique et magnésique ou chloruré sodique en générale, elles sont potables en référent aux normes de l'OMS et aux normes algériennes.

Du point de vue consommation, les analyses chimiques d'échantillons ; montrent que les eaux de Metlili ne sont pas trop chargées, car pour l'ensemble des paramètres analysés ces derniers ne dépassent pas les normes de l'OMS et les normes Algériennes.

La comparaison des quantités de minéraux contenus dans les eaux de la région et les normes nationales et celles de l'OMS montre que ces eaux sont bonnes pour la consommation même si celle-ci présente une qualité médiocre contenue de la dureté de ces eaux.

Au cours de ce chapitre, nous avons présenté les propriétés générales du fluor et ses effets sur l'être humain. Il peut avoir à faibles doses un effet bénéfique dans la prévention contre la carie dentaire. Cependant, à doses excessives, il peut causer des effets toxiques aigus ou chroniques.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion

Le climat de la région de Metlili est connu par son aridité marquée notamment par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations (max 16mm) d'une part, et les températures très élevées dépassent 30°C pendant juin (max moy 32.93°C) et juillet (max moy 34.69°C) d'autre part. Cette aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui constitue l'un des facteurs climatiques majeurs actuels qui règnent dans la région. À partir de ces hautes températures et faibles précipitations acquièrent un climat saharien hyper aride de notre zone d'étude.

La région de Metlili entaillée dans les massifs calcaires du Turonien se caractérise par 4 couches géologiques : Quaternaire, Touranien, Cénomaniens, Albien. Cette région dépend de l'agriculture, la nappe albienne présente un intérêt important dans le domaine agricole.

La région de Metlili fait partie du système aquifère de Sahara septentrional (SASS), les principales ressources en eau dans la région sont d'origine souterraine. Elles sont stockées dans deux types d'aquifères : les aquifères superficiels qui sont abrités dans le calcaire du sénonien carbonaté, calcaire fissuré du turonien et dans les alluvions des vallées des oueds de la région, alimentée directement par les eaux des pluies, ainsi que les fréquents écoulements des oueds, et l'aquifère profonde souvent captif du continental intercalaire, qui est composé de sable, grès et d'argiles sableuses d'âge Albien. Selon la région elle est captée à une profondeur allant de 80 à 1000 m, par des forages à différents usages ; l'irrigation, l'industrie et l'AEP.

Les cartes piézométriques 2010 et 2018 de la nappe continentale intercalaire montrent que le sens général d'écoulement du Nord-Ouest vers Sud-Est, avec des perturbations de l'écoulement au niveau des centres urbains et les zones agricoles causées par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation. On remarque aussi que le niveau piézométrique a diminué dans toute la région de Ghardaïa avec la création des nouveaux périmètres irrigués.

Les eaux de continental intercalaire sont de faciès sulfaté calcique et magnésique ou chloruré sodique en générale, elles sont potables en référence aux normes de l'OMS et aux normes algériennes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

ACHOUR M. (2003) : étude hydrogéologique de la nappe phréatique de la vallée de metlili (ghardaïa) 36p.

ACHOUR M. (2010) : Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du CI ; ANRH ; Ghardaïa, Algérie ; 14p.

ACHOUR M. (2014) : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride -cas la vallée de M'Zab (Ghardaïa, Algérie), mémoire Magister, UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA,126p.

Agence Nationale des Ressource Hydraulique. DRS. Ouargla : Algérie. A.N.R.H Ghardaïa 2010 : Rapport de fin du sondage (Rapport Oued Metlili 3_(DSA), Ghardaïa,11p.

A.N.R.H Ghardaïa 2003 : Rapport de fin du sondage (Coopérative agricole du TIMOUKRAT commune de Metlili daïra de Metlili), Ghardaïa, DAHOU Fadila 2014 : Etude des sols alluvionnaires d'Oued Metlili.55p.

A.N.R.H Ghardaïa 2011 : Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe Albienne dans la wilaya de Ghardaïa.

BENDRISSOU R et DEJDELL Y ,2011 : Approche qualitative des eaux souterraines de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa cas de la palmeraie Est de la ville de Ghardaïa, mémoire Master UNIVERSITE HOUARI BOUMEDIENNE,45p.

DJAFER Mohamed 2016 : Apport des systèmes d'information Géographique (S.I.G) à l'étude de la vulnérabilité intrinsèque de l'aquifère alluvionnaire d'oued Metlili W Ghardaïa.58p

D.P.A.T., Direction de la planification et de l'Aménagement du Territoire de la Wilaya de Ghardaïa, 2009- Atlas de Ghardaïa, 164 p.

FENNICHE A. 2016 : Qualité chimique des ressources hydriques de la région du M'Zab, mémoire de master UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 53p.

ERESSE,(1972) : Etude de ressources en eau dans le Sahara septentrional. UNESCO Rapport final, annexe7.paris.

GUERBOUZ Fatima 2006 : Contribution à l'étude cinétique de la qualité de l'eau potable au niveau de la ville de metlili (Ghardaïa) 106p.

LEMIRE M, MEURGUES G et PETTERF.(2003):Désert saharien. Muséum de l'histoire naturelle. MUTIN G, 1977.La Mitidja, décolonisation et espace géographique. Ed Office Publ. Univ., Algeria, 606 p.

Meriem DJAANI 2015: étude du réseau d'alimentation en eau potable de la nouvelle ville d'el gaada-metlili (wilaya de Ghardaïa) avec caractérisation par un sig, 124p.

ONM Ghardaïa, 2019.Données climatiques de la région de Ghardaïa. Ed. Office national de Météo, Ghardaïa, 3 p. OSS, (2003). "Système aquifère du Sahara septentrional - gestion commune d'un bassin transfrontière"

RODIER, J. 1984 : L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires eau de mer)

OULDBABA Sy, M. (2005). "Recharge et paléo-recharge du système aquifère du Sahara septentrional", thèse de Doctorat, université de Tunis El Manar, 261p.

ROUAS Ahmed BENDANIA Mohammed Lahcene: Etude hydrogéologique de la région de hassilafhel (Ghardaïa). 60p.

Salah.ABouزيد.S 2018 : Etude de fiabilité de la réalisation d'un retenue collinaire sr oued Labiodh commun Metlili wilaya de Ghardaïa, 120p