



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

N°d'enregistrement

Université de Ghardaïa

...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département de de hydraulique et de Génie Civil

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: hydraulique

Spécialité: hydraulique urbain

Thème

Étude de la qualité Physico-chimique des eaux des forages de région de Metlili (wilaya de Ghardaïa)

Présenté par :

BENHAKOUM Amel

NAILI Safa

Soutenu publiquement le : 18/06/2023

Devant le jury composé de :

BOUTELLI.Med.h	MAA	Univ. Ghardaïa	Président
BOUBELLI Salim	MCA	Univ. Ghardaïa	Examinateur
AMIERUR Rokaia	MAA	Univ. Ghardaïa	Encadreur
DJAANI Meriem	Doctorant	Univ. Ghardaïa	CO. Encadreur

Année universitaire 2022/2023



Dédicace

Pour m'avoir permis d'accéder au savoir et d'être ce que je suis devenue Aujourd'hui, je voudrais remercier DIEU le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, la patience et la persévérance pour accomplir ce Modeste travail.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse à ma très chère mère que dieu la protège,

A mon cher père pour l'éducation qu'il m'a prodigué; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consenti à mon égard, pour m'inculper le sens du devoir depuis mon enfance.

A mes chères sœurs « Nadia », « Wahiba », « Karima », « Affaf », « Fatima », « Ahlem »,

A toute la famille BENHAKOUM et BENDOUI, A mon binome, Safaa, pour sa fidélité.

*A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé des moments de joie et de bonheur, à tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.
A tous les honorables enseignants qui ont contribué à ma formation. Enfin, toute personne m'ayant aidé de près ou de loin dans ce travail Laborieux et de longue haleine, trouve ici l'expression de mes vives reconnaissances et remerciement.*

BENHAKOUM Amel





Dédicace

Pour m'avoir permis d'accéder au savoir et d'être ce que je suis devenue, aujourd'hui, je voudrais remercier DIEU le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force, la patience et la persévérance pour accomplir ce Modestetravail.

Je dédie ce modeste travail à celle qui m'a donné la vie, le symbole de tendresse à ma très chère mère que dieu la protège,

A mon cher père pour l'éducation qu'il m'a prodigué; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'il a consenti à mon égard, pour m'inculper le sens du devoir depuis mon enfance.

A mes chères sœurs « Nesrine », « Oumelkhir », « Massouda », à mes très chères frères « Mohammed el amine », « Saad »,

A toute la famille NAILI et BOUHAFS, A mon binome Amel, pour sa fidélité. A tous mes amis avec lesquels j'ai partagé des moments de joie et de bonheur, à tous ceux qui ont été à mes côtés jusqu'à aujourd'hui.

A tous les honorables enseignants qui ont contribué à ma formation. Enfin, toute personne m'ayant aidé de près ou de loin dans ce travail laborieux et de longue haleine, trouve ici l'expression de mes vives reconnaissances et remerciement.

NAILI Safa





Remerciement :

Nous tenons tout d'abord à remercier DIEU le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modest travail.

En second lieu, nous tenons à remercier nos encadreurs Mme. AMIEUR Roukia et Mme DJAANI Meriem..

Pour la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.


Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous souhaitons adresser nos remerciements aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis,, qui nous ont toujours soutenues et encouragées

au cours de la réalisation de ce travail.

Sans oublier nos parents pour leurs contributions, leurs soutiens, leurs patiences, leurs prières et leurs encouragements.



ملخص

تهدف دراستنا الى تقييم النوعية الفيزيوكيميائية لعينة من الآبار الارتوازية الموجودة في بلدية متليلي هذه الأخيرة إحدى بلديات ولاية غارداية والتي بها عدد معتبر من السكان حيث ان المياه الجوفية أهم مصادر المياه .

تقيم جودة المياه الجوفية يعتمد على قياسات تراكيز للمعلمات التالية: درجة الحرارة, الحموضة, الناقلية, كمية الأوكسجين المذاب, نسبة قساوة المياه, تراكيز الصوديوم, البوتاسيوم, المغنيزيوم, الكالسيوم, الحديد, الكبريتات وتركيز لكلور.

بينت النتائج المتحصل عليها من خلال التحاليل التي تم إجرائها للعينات المدروسة أن اغلب القيم المسجلة لاغلب المعلمات المدروسة تستجيب لمعايير جودة المياه الصالحة لشرب باستثناء تركيز الكبريتات وقساوة الماء في الآبار الارتوازية لمنطقة سواني, الدخلة 2 وواد الدرين (بخصوص تركيز الكبريتات) و منطقة شعاب لعريق, زرايب, قوطع و شعاب قفول بسوارق (فيما يتعلق بدرجة القساوة).

كما لاحظنا كذلك أن تركيز الصوديوم اقل من الحد المسموح به في معايير جودة المياه باستثناء مياه منطقة لعجاجة. يمكن تفسير هذه التغيرات في تركيز إلى تركيبة طبقات الأرض ا والى عوامل خارجية يعتبر الإنسان احد الاسبابها.

الكلمات المفتاحية: النوعية الفيزيوكيميائية, بلدية متليلي, المياه الجوفية, المياه الصالحة لشرب.

Résumé

L'objectif de notre étude est d'évaluer la qualité physico-chimique des eaux de forages de la région de Metlili, l'une de commune relevant de la wilaya de Ghardaïa et dont un nombre non négligeable de sa population s'alimente en eaux souterraines.

L'évaluation de la qualité de ces eaux s'est basée sur les mesures de la température (T), de potentielle d'hydrogène (pH), de conductivité électrique (CE), de l'oxygène dissous (O₂dissous), du titre alcalimétrique complète (TAC), de dureté totale (TH), de sodium (Na⁺), de potassium(K⁺), de

magnésium (Mg^{2+}), de calcium (Ca^{2+}), le fer (Fe^{2+}), des sulfates (SO_4^{2-}) et des chlorures (Cl^-).

Les résultats obtenus montrent que toutes les valeurs enregistrées de : pH ; TAC, calcium, magnésium, potassium le fer et le chlorure sont rependu à la norme algérienne des eaux potable ; par contre pour les sulfates et la dureté totale toutes les valeurs sont supérieures à la norme sauf que les teneurs de forage de : Souani, Dakhla 02 et Oued Drine (pour les sulfates) et les forages de : chaablaarig, Zrain, Dakhla 2, Goutaa et Chabet gfoul souarig (pour la dureté totale).

On remarque aussi que les concentrations de sodium sont inférieures à limite sauf que la valeur de forage de Laadjadja. On peut justifier la variation des concentrations par la formation des couches terrestres de la nappe et par des causes externes ; l'activité humaine l'une des causes.

Mots clés : qualité physico-chimique, Metlili, les eaux souterraines, alimentation en eaux potable.

Abstract

The aim of our study is to assess the physico-chemical quality of the borehole water of the Metlili region, one of the municipalities of the Ghardaïa wilaya, whose population feeds on groundwater.

The assessment of the quality of these waters was based on measurements of temperature (T), hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (dissolved O_2), total alkalime content (TAC), total hardness (TH), sodium (Na^+), potassium (K^+), magnesium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}), iron (Fe^{2+}), sulphates (SO_4^{2-}) and chlorides (Cl^-).

The results obtained show that all recorded values of: pH; TAC, calcium, magnesium, potassium, iron and chloride are repeated to the Algerian drinking water standard; for sulphates and total hardness all values are higher than the standard except that the drilling : Souani, Dakhla 02 et Oued Drine (for sulphates) et les forages de : chaablaarig, Zrain, Dakhla 2, Goutaa et Chabet gfoul souarig (for total hardness).

The variation in concentrations can be justified by the formation of the ground layers of the groundwater and by external causes; human activity is one of the causes.

Keywords: physico-chemical quality, Metlili, groundwater, drinking water supply.

Liste de tableau

Tableau 01 : Les paramètres étudiés, matériels utilisés et les méthodes d'analyses	21
Tableau 02: les besoin en eau de la région de Metlili pour l'année 2023	46
Tableau 03: Débit d'exploitation des forges de la zone de Metlili.....	46
Tableau 04: Paramètre de qualité de l'eau de consommations humaine (Décret exécutif n° 13-53 du 9 mars 2014)	57
Tableau 05 : Résultats des analyses des eaux des forages de la zone de Metlili.	67

Liste de figure

Figure 01 : La carte de wilaya de Ghardaïa (D.P.A.T. 2008)	4
Figure 02 : Commune de Metlili (APC. 2021)	5
Figure 03 : Températures moyennes mensuelles (période 2010-2017) (ONM. 2022).....	7
Figure 04 : Variation mensuelle des précipitations (période 2010-2017) (ONM. 2022).....	7
Figure 05 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle (Période 2010-2017)(ONM.2022).8	
Figure 06 : Variation moyenne mensuelle du vent (Période2010 - 2017) (ONM. 2022).	9
Figure 07 : Cycle général de l'eau (Sari. 2014)	16
Figure 08: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (Unesco.1972).	19
Figure 09 : Localisation des 16 forages étudiés de la zone de Metlili	29
Figure 10 : Variation de pH des eaux de la nappe CI de Metlili.	31
Figure11 : Variation de l'oxygène dissous des eaux de la nappe CI de Metlili.	32
Figure 12: Variation de TH des eaux de la nappe CI de Metlili.....	33
Figure13 : Variation de TAC des eaux de la nappe CI de Metlili.	35
Figure 14: Variation de Ca^{+2} des eaux de la nappe CI de Metlili.....	36
Figure 15 : Variation de Na^{+2} des eaux de la nappe CI de Metlili	37
Figure 16 : Variation de Mg^{+2} des eaux de la nappe CI de Metlili.....	38
Figure 17 : Variation de K^{+} des eaux de la nappe CI de Metlili	39
Figure 18: Variation de Fe^{2+} des eaux de la nappe CI de Metlili.....	40
Figure 19: Variation de Cl^{-} des eaux de la nappe CI de Metlili	42
Figure 20 : Variation de NO_2^{-} des eaux de la nappe CI de Metlili.....	43
Figure 21: Variation de SO_4^{-2} des eaux de la nappe CI de Metlili.....	44
Figure 22. Projection des résultats des analyses des eaux des forages de la zone de Metlili sur le diagramme de STABLER.	45
Figure 23 : pourcentage de forage Chabet Ahmed	59
Figure 24 : pourcentage de forage Chabet Laarig.....	59
Figure 25 : pourcentage de forage Chabet sidi cheikh.....	60
Figure 26 : pourcentage de forage Chabet gfoul souar	60
Figure 27 : pourcentage de forage Gouta.....	61
Figure 28: pourcentage de forage Houissi Guemgoume	61
Figure 29 : pourcentage de forage El Hadaba	62

Figure 30: pourcentage de forage Laadjadja	62
Figure 31 : pourcentage de forage M'guissem.....	63
Figure 32 : pourcentage de forage Oued Drine	63
Figure 33 : pourcentage de forage Dakhla parek	64
Figure 34 : pourcentage de forage Souani	64
Figure 35 : pourcentage de forage Dakhla stade.....	65
Figure 36: pourcentage de forage Timakrat	65
Figure 37: pourcentage de forage Zone ind Metlili.....	66
Figure 38: pourcentage de forage Zraib	66

Liste d'abréviations

ADE : Algérienne Des Eaux

ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydriques

APC : Assemblée pulaire communale

C E : Conductivité électrique

CI : Continental Intercalaire.

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

EDTA : Acide Ethylène Diamin Tetracétique.

ISO : Organisation Internationale de normalisation.

JORA : Journal Officiel de la République Algérienne

Mg/L : Milligramme par Litre.

OMS : Organisation Mondial de la Santé.

ONM : Office National de la Météorologie.

μS : Micro Siemens.

SOMMAIRE

Sommaire

ملخص

Résumé

Abstract

Liste de tableau

Liste de figure

Liste d'abréviations

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITE 01 : Etude du Milieu Physique	
1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	4
1.1.1. Présentation de la région de Ghardaïa	4
1.1.2. Présentation générale de Metlili.....	5
1.2. DONNEES CLIMATIQUES	6
1.2.1. Température	6
1.2.2. Pluviométrie	6
1.2.3 Evaporation	8
1.2.4 Les vents	8
1.2.5 Insolation.....	9
1.3. APERÇU GEOLOGIQUE ET DU RELIEF	10
1.4. RESSOURCES HYDRIQUES	10
1.5. AGRICULTURE	11
1.6. CADRE GEOLOGIQUE :	11
1.6.1. Cadre géologique locale :	11
1.6.2. Albien :.....	12
1.6.3. Cénomaniens :.....	12
1.6.4. Turonien :.....	12
1.6.5. Sénonien :.....	12
A. Sénonien inférieur	12
B. Sénonien supérieur :	13
1.6.6. Miopliocène :	13
1.6.7. Quaternaire :.....	13
CHAPITRE 02: Généralité sur les eaux	
2.1. INTRODUCTION	15
2.2 GENERALITES SUR LES EAUX.....	15
2.2.1. Connaissances sur l'eau.....	15

2.2.2. Formes de l'eau sur terre	15
2.2.3. Cycle de l'eau	16
2.2.4. Classement de l'eau	17
2.2.4.1. Eaux de surfaces	17
2.2.4.2. Eaux souterraines	17
2.2.4.3. Qualité des eaux souterraines	18
2.3. RESSOURCES EN EAU SAHARA ALEGRIA	19
2.3.1. Systèmes Aquifères	19
2.3.1.1. Présentation de système aquifère de la région de Metlili	20
A. La nappe superficielle (phréatiques)	20
B. La nappe albiennaise:	20
2.4. METHODOLOGIE D'ETUDE	21
2.5. ÉCHANTILLONNAGE	21
2.6. CARACTÉRISTIQUES DES EAUX	22
A. Le pH	22
B. Température (C°)	23
C. Conductivité électrique (CE) (mS/cm)	23
D. Oxygène dissous (O _{diss}) (mg/l)	23
E. Sodium (Na ⁺) et potassium (K ⁺) (mg/l)	23
F. TH et TAC (mg/l)	23
G. Calcium (Ca ⁺²) et Magnésium (Mg ⁺²) (mg/l)	24
H. Les chlorures (Cl ⁻) (mg/l)	24
I. Azote nitreux (N-NO ₂ ⁻)	24
J. Fer (Fe) (mg/l)	25
K. Les sulfates	25
2.7. ETUDE DES BESOINS EN EAU	26
2.7.1. Etude démographique	26
2.7.2. Etude des besoins de la population	26
2.7.3. Etude des besoins des équipements	26
2.7.5. Le débit de pointe	27
CHAPITRE 03: Résultats et discussion	
3.1. ETUDE DE HYDROCHIMIE DES EAUX	29
3.1.1. Etude physico-chimique	29
A. PH (Potentiel d'hydrogène)	29
B. L'oxygène dissous	31
C. Titre hydrotimétrique (TH) et les titres alcalimétriques (TAC).	32
a) Titre hydrotimétrique (TH)	32

b)	Titre alcalimétriques (TAC)	34
D.	Calcium (Ca²⁺)	35
E.	Sodium (Na⁺)	36
F.	Magnésium (Mg²⁺)	37
G.	Potassium (K⁺)	38
H.	Fer (Fe²⁺)	39
I.	Chlorure (Cl⁻)	41
J.	Nitrite (N⁻NO₂⁻)	42
K.	Les sulfates (SO₄²⁻)	43
3.2.	EVALUATION DES FACIES CHIMIQUES DES EAUX	44
3.3.	EVALUATION DES BESOINS EN EAUX	45
	Conclusion générale	
	Références	
	Annexe	

INTRODUCTION

GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'homme a besoin de l'eau pour ses activités et son développement. En revanche l'eau douce ne représente que 2.53 % de toute l'eau de la planète et seule l'eau douce soutient la vie terrestre (Lefèvre. 2013).

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. (Hamel et Hanichi. 2020)

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. Les eaux des nappes du Sahara sont fossiles, 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 (Hamel et Hanichi. 2020).

Il existe aussi une recharge actuelle des nappes sahariennes. Cette alimentation se manifeste lorsque certaines conditions climatiques, topographiques et géologiques sont réunies. 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

INTRODUCTION GENERALE

ces eaux, il est indispensable de caractériser les aquifères et connaître les modalités de l'écoulement ainsi que la qualité chimique de ses eaux (Raham et Kouloughli. 2018).

L'objectif de ce travail consiste à étudier la qualité des eaux des 16 forages de la région de Metlili (wilaya de Ghardaïa) destinés à la potabilité. Les principaux facteurs qui nous permettent d'évaluer la qualité des eaux sont les paramètres physico-chimiques

Dans le but d'approfondir notre objectif cette mémoire est organisée en deux parties :

La première partie est envisagée dans trois chapitres ; dans le premier chapitre, nous avons étudié le milieu physique de notre zone d'étude (cadre géographique, climatique et hydrologique).

Les informations générales sur les eaux, les paramètres étudiés, les méthodes et les matériels utilisés, les forages sélectionnés, l'estimation des besoins en eau étaient apportées dans le deuxième chapitre

En fin, la partie expérimentale présente les résultats de toutes les analyses effectués. Pour terminer, nous avons clôturé notre étude par une conclusion générale où sont récapitulés les principaux résultats obtenus.

CHAPITRE 01

Etude du Milieu Physique

1.1. SITUATION GEOGRAPHIQUE

1.1.1. Présentation de la région de Ghardaïa

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord de Sahara. À environ 600 Km de la capitale Alger. Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.
- longitude 3° 45' Est.

La wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 86560 km², elle est limitée au Nord par la Wilaya de Laghouat, au Nord Est par la Wilaya de Djelfa; a l'Est par la Wilaya d'Ouargla; au Sud par la Wilaya de Tamanrasset; au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar; a l'Ouest par la Wilaya d'el-Bayadh. (Figure.01).

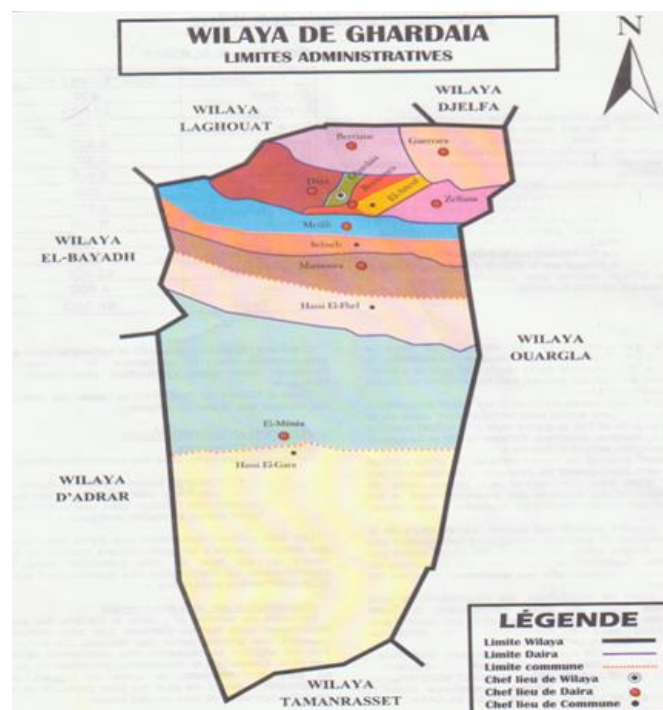


Figure 01 : La carte de wilaya de Ghardaïa(D.P.A.T. 2008)

La wilaya comporte actuellement 13 communes regroupées en 9 daïras pour une population 405015 habitants, soit une densité de 4,88 habitants/ km² (D.P.A.T. 2008).

1.1.2. Présentation générale de Metlili

La Commune Metlili a connu ces derniers temps une évolution très rapide en matière de population et d'espace d'origine Oasienne. Elle couvre une superficie de 7300 Km² et abrite une population de 62077 habitants en 2021 (Apc.2021).

Ces limites communales sont :

- Au nord de la commune d'El Bayadh et les communes de Daya, Bounoure, El Atteuf et Zelfana.
- Au Sud la commune de Sebseb.
- A l'Est la commune d'Ouargla.
- A l'Ouest la commune d'El Bayadh

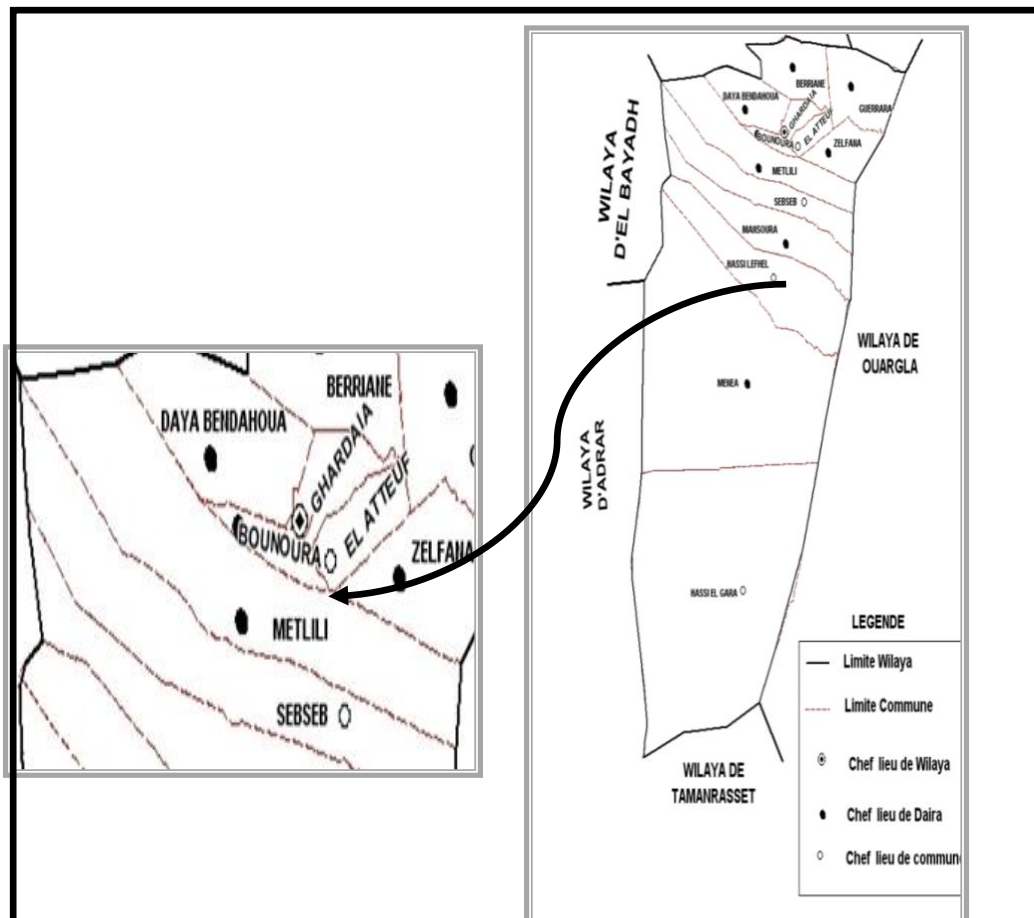


Figure 02 : Commune de Metlili (APC. 2021)

1.2. DONNEES CLIMATIQUES

Le territoire de Ghardaïa s'insère dans un ensemble physique plus vaste et très hétérogène. Il présente une diversité physique et une richesse paysagère remarquable. Mais certains éléments lui sont propres et l'individualisent :

- le climat de la région de Ghardaïa se caractérise par une grande sécheresse de l'atmosphère la quelle se traduit par un énorme déficit de sa saturation et d'évaporation considérable ainsi la très forte insolation due à la faible nébulosité qui sous cette altitude donne l'importance accrue aux phénomènes thermiques
- Le climat Saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée.
- La très faible pluviosité à l'extrême fait disparaître la couverture végétale, accroît l'importance du moindre souffle de vent et lui permet des actions mécaniques toujours notables (Pdau. 2014).

1.2.1. Température

La figure 3 montre la variation des Températures moyennes mensuelles de la série étudiée. On peut remarquer que la température moyenne annuelle autour de 22,78°C, la température moyenne la plus basse apparaît au mois de janvier avec 11,35°C, alors que la plus élevée se présente en juillet où elle atteint 43°C (Onm.2022).

La saison chaude s'étend de mai à octobre, pendant les quels les températures mensuelles sont supérieures à la moyenne annuelle, alors que la saison froide s'étend de novembre jusqu'à mars (Figure.03).

1.2.2. Pluviométrie

Les valeurs totales mensuelles de précipitation de la série étudiée présentent dans la figure.04.

On peut distinguer deux périodes distinctes : une période très sèche qui correspond à la saison d'été (juin, juillet et aout) caractérisée par un déficit pluviométrique bien marqué et une période sèche qui correspond au reste de l'année.

D'autre part, le mois le plus pluvieux se situe en automne pendant octobre. La période la plus sèche est représentée par juillet.(Figure.04).

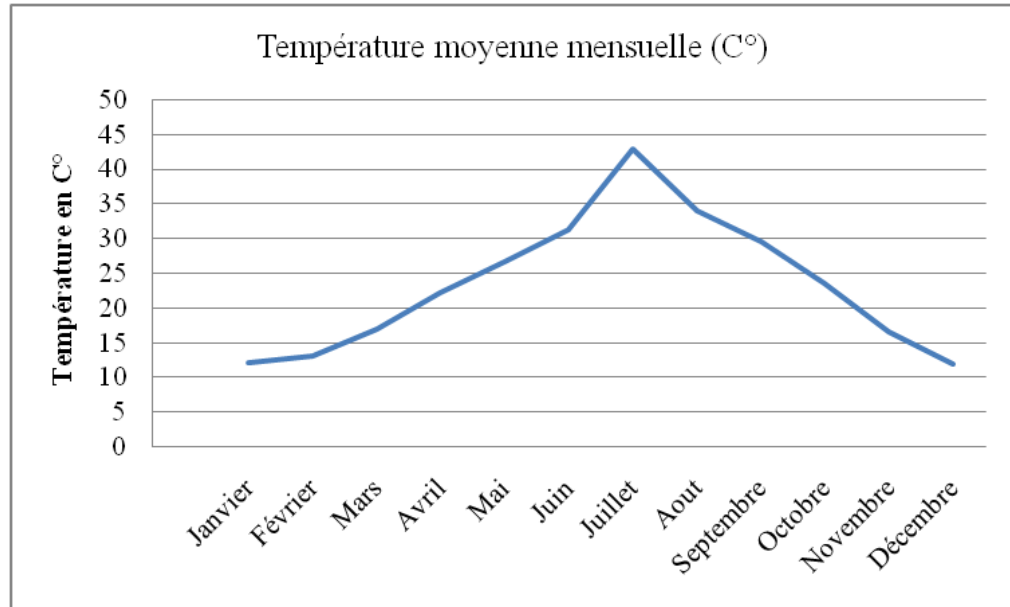


Figure 03 : Températures moyennes mensuelles (période 2010-2017)(ONM. 2022).

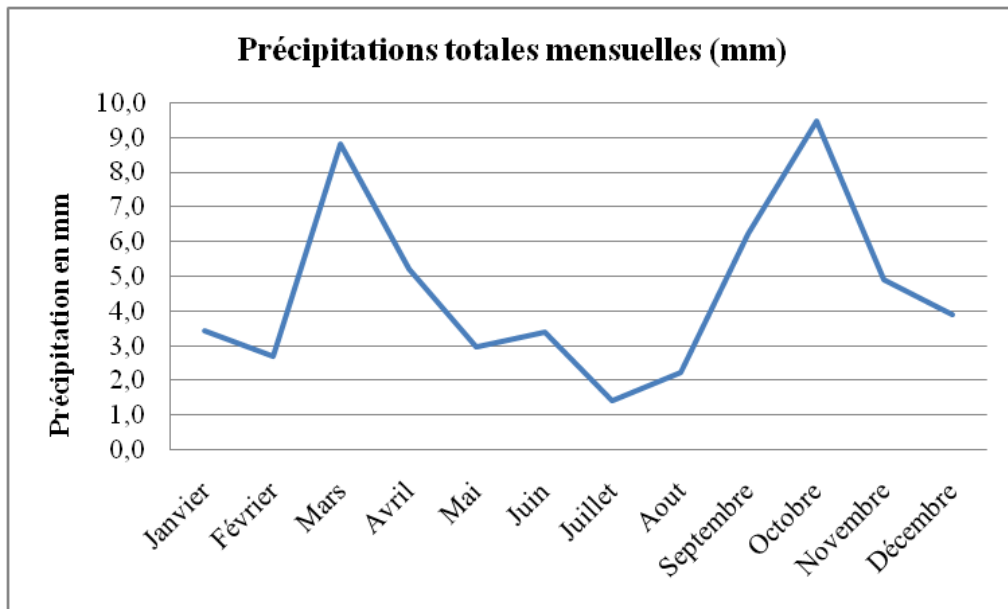


Figure 04 : Variation mensuelle des précipitations (période 2010-2017) (ONM. 2022).

1.2.3 Evaporation

La quantité d'eau évaporée dans la région de Ghardaïa est influencée par le degré de température, les vents et les précipitations, elle augmente quand ceux-ci augmentent et vice versa ;

On constate généralement des valeurs élevées (434,1mm) pendant les périodes chaudes (juin, juillet, août), les valeurs les moins élevées sont enregistrées au cours de moins de janvier et février ;

L'évaporation annuelle à la station de Ghardaïa est de l'ordre 3154mm (Figure05) (Onm. 2022).

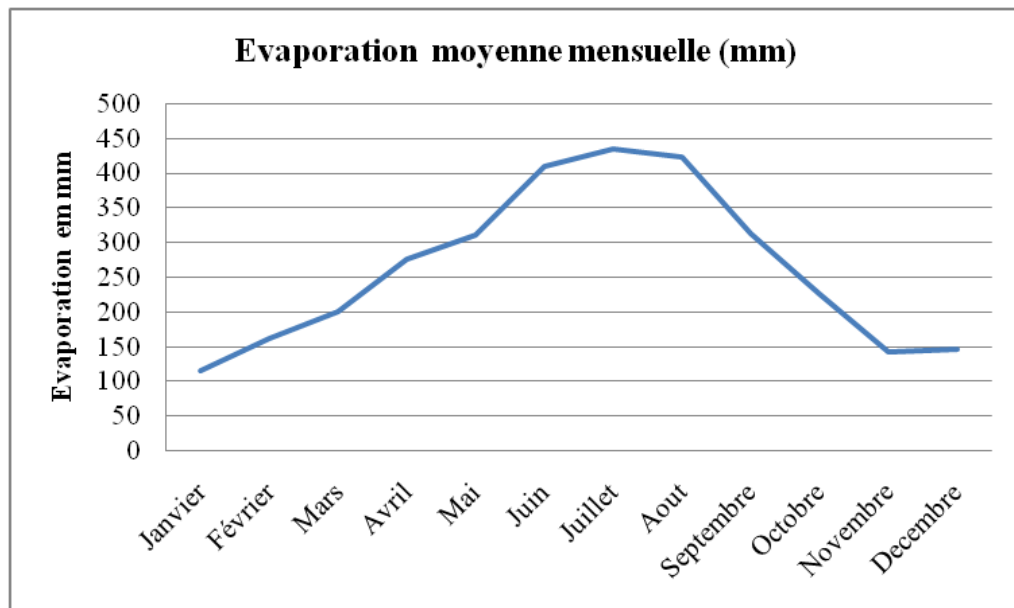


Figure 05 : Variation de l'évaporation moyenne mensuelle (Période 2010-2017)(ONM. 2022).

1.2.4 Les vents

La variation de la vitesse moyenne mensuelle du vent de la période étudiée présentée dans la figure 06.

Les valeurs oscillent entre 10.09 et 15.46 Km/h avec une valeur moyenne de 13.01Km/h, les valeurs les plus élevées enregistrées au mois février, mars et avril; d'autre part la plus bas valeur est de 5.6 Km/h enregistrée au mois octobre.

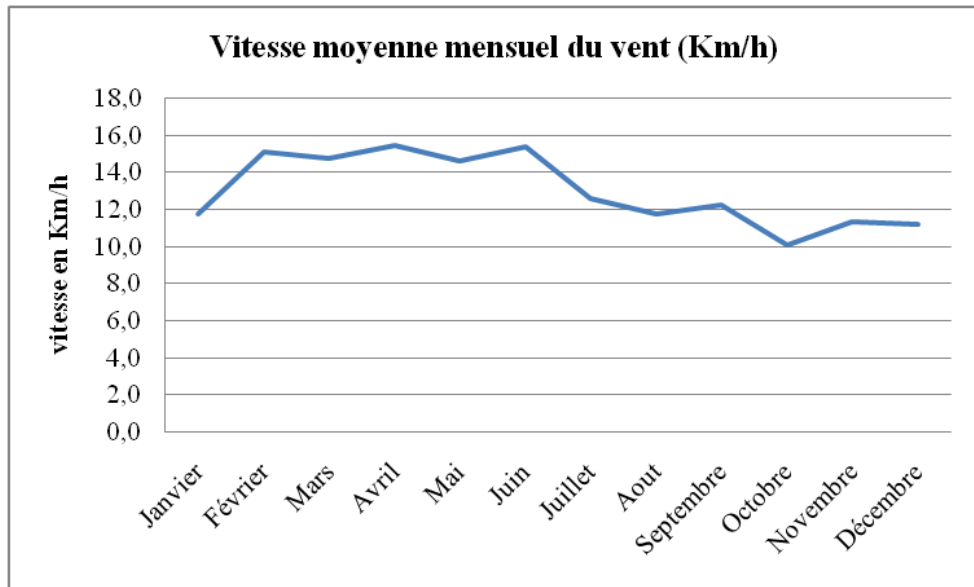


Figure 06 : Variation moyenne mensuelle du vent (Période 2010 - 2017) (ONM. 2022).

1.2.5 Insolation

Les valeurs mensuelles moyennes de l'ensoleillement au niveau de la station de mesure de Ghardaïa pour la période (2010- 2017) sont les suivantes, Le maximum d'ensoleillement est relevé en juillet, et le minimum au mois de janvier (ONM. 2022). (Figure.07).

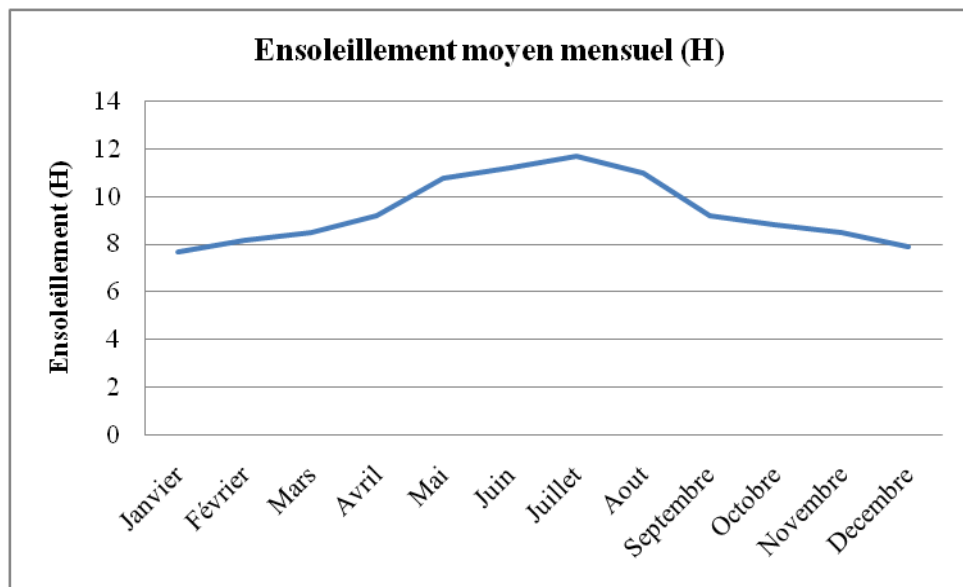


Figure 07 : Variation de l'ensoleillement moyen mensuel (Période 2010- 2017)(ONM. 2022).

1.3. APERÇU GEOLOGIQUE ET DU RELIEF

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.

En bordure des Oueds, quelques débris argilo-siliceux constituent es sols relativement pourvus. En faible profondeurs les marnes retiennent la nappe phréatique alimentée par les crues d'oueds.

Entre 400 et 1000 mètres de profondeur, la couche de grès Albien forme une sortie d'immense cavité retenant une importante nappe d'eau.

La Chebka du Mzab qui doit son nom à son aspect extrêmement crevassé est une région qui présente une unité topographique, climatique et géologique caractéristique(Pdau. 2014).

La superstructure du sol est essentiellement formé de couches assez plates de formations calcaires turonienne généralement légèrement surélevées en dorsales d'orientation Nord –Sud affectant une forme générale en pupitre d'inclinaison très douce du Nord –Ouest vers l'Est et plus abrupte vers l'Ouest, cette dorsale sépare le Sahara oriental au Sahara occidental (Pdau. 2014).

1.4. RESSOURCES HYDRIQUES

Actuellement on utilise, sans compter les réserves d'eau fossile situées dans la couche géologique du continent intercalaire (nappe albiennne).

Les forages vont chercher l'eau à de grandes profondeurs. On parle d'une fabuleuse réserve de 800.000 m³ située en dessous du grand Erg Oriental mais quelques soient les estimations, il n'y a qu'une certitude : ces réserves ne sont pas réalimentées et donc limitées dans le temps (Pdau. 2014).

Actuellement, l'alimentation en eau s'effectue par des forages de profondeur variable de 350 à 500 mètres puisant l'eau fossile de la nappe albiennne(Pdau. 2014).

1.5. AGRICULTURE

L'agriculture représente la principale activité dans la vallée, dont l'occupation du sol est répartie en trois étages ;

- ❖ La phoéniculture (agriculture des palmeraies) ;
- ❖ Les arbres fruitiers ;
- ❖ Cultures maraîchères et fourragères en intercalaires.

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle à partir des seguias (rigoles) ; rares sont ceux pratiquants l'aspersion et le goutte à goutte (Pdau. 2014).

1.6. CADRE GÉOLOGIQUE :

La réalisation d'une étude géologique approfondie d'une région revêt une importance cruciale afin d'identifier les formations géologiques susceptibles de contenir des nappes aquifères en se basant sur leur lithologie. Plusieurs auteurs ont contribué à la littérature scientifique en publiant des travaux portant sur la géologie du Sahara septentrional, notamment Glangeaud (1932), Conrad (1969), Busson (1970) et Fabre (1976). Nous estimons que ces travaux, qui présentent une cohérence significative entre eux, peuvent fournir des conclusions précieuses sur la géologie de la région d'étude.

1.6.1. Cadre géologique locale :

La wilaya de Ghardaïa est située aux marges occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas-Sahara, avec des terrains affleurants principalement datant du Crétacé supérieur (ANRH. 2016).

- ❖ D'un point de vue lithologique, ces affleurements peuvent être classés de la manière suivante (Achour. 2010) :
- ❖ Des argiles verdâtres et bariolées à l'ouest et au sud-ouest, attribuées au Cénomaniens.
- ❖ Des calcaires massifs durs, de teinte blanc grisâtre, se trouvant au centre et attribués au Turonien.

- ❖ Des calcaires marneux et des argiles gypseuses à l'est, attribués au Sénonien.
- ❖ Des sables rougeâtres consolidés à l'est et au nord-est, datant du Miocène moyen.
- ❖ Des alluvions quaternaires recouvrant le fond des vallées des oueds.

1.6.2. Albien :

Il s'agit de la série lithologique supérieure du Continental Intercalaire, composée principalement de grès, de sables argileux et de sables. Cette série est interceptée par des forages sur une épaisseur de 500 mètres et est caractérisée par des sables fins à grossiers, de teinte jaunâtre parfois rougeâtre à rosée, avec des intercalations d'argiles verdâtres. Cette couche revêt une grande importance sur le plan hydraulique dans la région.

1.6.3. Cénomaniens :

Cet étage exhibe un faciès argileux, principalement composé d'argiles grises, brunes et parfois noirâtres, qui sont compactes et présentent un bariolage de gypses vitreux. À la base, on trouve des argiles grisâtres claires, légèrement sableuses. L'épaisseur moyenne du Cénomaniens dans la région du M'Zab est de 230 mètres.

1.6.4. Turonien :

Le plateau rocheux de la dorsale du M'Zab, d'une épaisseur d'environ 110 mètres, constitue une formation principalement composée de calcaires dolomitiques souvent fossilifères. Des structures d'Endokarst fossiles sont également observées, ce qui entraîne des pertes totales ou partielles de boue lors de la réalisation des sondages hydrauliques (Achour.2014).

1.6.5. Sénonien :

Il est constitué de deux formations lithologiques superposées :

A. Sénonien inférieur

Le Sénonien inférieur se caractérise par la présence d'argiles marneuses de teinte jaunâtre et rouge, avec des intercalations de bancs de gypses et

d'anhydrites. Ces caractéristiques ont été observées lors des forages hydrauliques réalisés dans la région de Guerrara et Zelfana, où l'épaisseur atteint 79 mètres.

B. Sénonien supérieur :

Le Sénonien inférieur affleure uniquement dans la partie orientale de la dorsale du M'Zab et recouvre l'ensemble des buttes témoins de cette dernière. Il est composé de calcaires marneux à argiles.

1.6.6. Miopliocène :

Les sondages réalisés à l'est du M'Zab (Guerrara) ont révélé la présence d'un dépôt de sables rouges plus ou moins consolidés. On observe également la présence de grès durs à tendre de couleur rose, avec des couches argileuses. Ce faciès s'étend sur une profondeur d'environ 65 mètres.

1.6.7. Quaternaire :

Cet horizon est constitué principalement d'alluvions et de sables plus ou moins grossiers, contenant également des dépôts argileux. Il remplit les bas-fonds des vallées des oueds. L'épaisseur de cette couche varie généralement entre 20 et 30 mètres.

CHAPITER 02

Généralité sur les eaux

2.1. INTRODUCTION

Généralement, il est bien admis que l'eau dans la nature est rarement pure car différents éléments peuvent altérer sa constitution de base par diffusion, dissolution ou par un simple mélange. La composition de l'eau dépend de l'environnement dans lequel elle se trouve sous forme d'un processus d'écoulement ou d'un stockage. Ainsi, une eau est identifiée par ses propres caractéristiques physico-chimiques telles que la dureté, la salinité et le pH. Les éléments qui se mélangent à l'eau lui confèrent un chimisme particulier traduisant certaines propriétés ou spécificités intrinsèques au trajet suivi par l'eau. L'eau traverse des couches de terrains perméables, ce qui entraîne une augmentation de la minéralisation par lessivage des roches, notamment ceux à nappes libres. Cette situation donne lieu à des atteintes graves à la qualité de l'eau par contamination verticale (Chaoui, 2007).

Les eaux souterraines, constituent une ressource de qualité généralement meilleure par rapporta celle des eaux de surface. La vulnérabilité des systèmes aquifères situés à proximité des centres urbains, est matérialisée par une contamination par des affluents qui se jettent dans les cours d'eau.

Comme il y'a une relation entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la pollution est systématiquement étendue vers les eaux souterraines et superficielles par drainage ou infiltration.

2.2 GENERALITES SUR LES EAUX

2.2.1. Connaissances sur l'eau

L'eau est un corps, incolore, inodore, et insipide de formule H_2O . C'est la seule molécule présente sur terre sous trois états : solide, liquide et gazeux. Elle se trouve en général dans son état liquide et possède à température ambiante des propriétés uniques. L'eau est un solvant efficace pour beaucoup de corps solides c'est pour cette raison qu'elle est souvent désignée de « solvant universel ». L'eau que l'on trouve sur terre est rarement pure. Les chimistes utilisent de l'eau distillée pour leurs solutions, mais cette eau n'étant pure qu'à 99 %, il s'agit techniquement d'une solution aqueuse (Birech et Messaoudi, 2006).

2.2.2. Formes de l'eau sur terre

L'eau recouvre 72 % de la surface de la terre, sous différentes formes :

- Liquide, dans les océans, les fleuves, les lacs, les rivières.....

- Gazeuse, sous forme de vapeur d'eau dans l'air.
- Solide, sous forme de glace dans les glaciers, dans la banquise, les icebergs.....

La circulation de l'eau au sein des différents compartiments terrestres est décrite par le cycle de l'eau. (Pendoue)

2.2.3. Cycle de l'eau

L'eau est un corps essentiel pour tous les organismes vivants. 71 % de la surface de la terre est recouverte d'eau, soit 97 % d'eau salée et 3 % d'eau douce dans différents réservoirs. L'eau peut changer d'état sans intervention humaine. Ces changements d'états dépendent essentiellement de la température et de la pression mais aussi des composés chimiques. Le cycle de l'eau (Figure.07) décompose le phénomène complexe de ces transformations successives de l'eau en différents états.

Les trois phases principales du cycle peuvent être résumées ainsi : évaporation, précipitation, écoulements souterrains et ruissellement. Leur élément moteur est l'énergie solaire.

En fonction des caractéristiques géologiques du sous-sol, les eaux souterraines peuvent connaître de longues périodes d'emmagasinement de l'ordre du millénaire (Beniston, 2009).

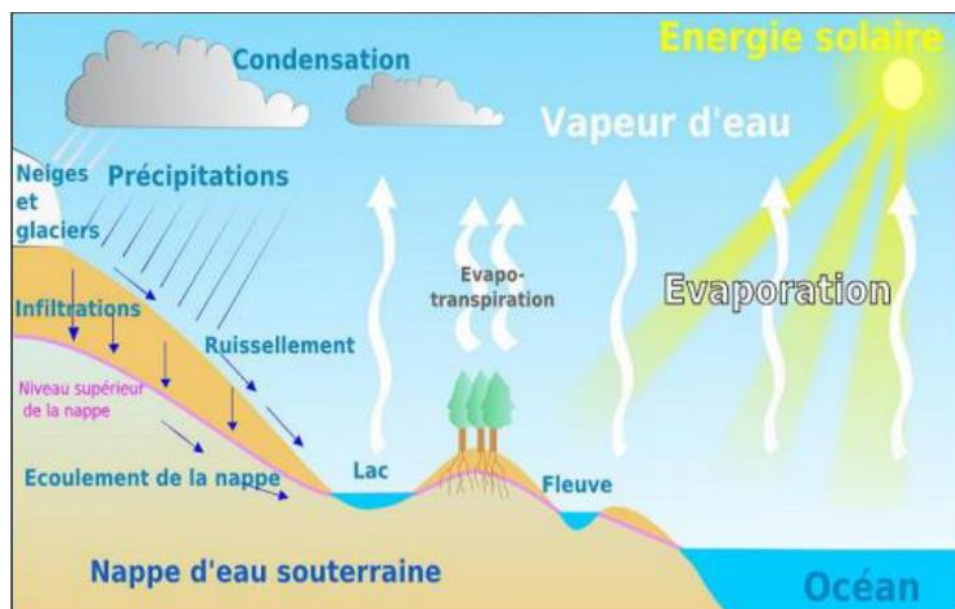


Figure 07 : Cycle général de l'eau (Sari, 2014)

2 .2.4. Classement de l'eau

Selon sa source, l'eau peut être divisée en eau souterraine et eau de surface. Les deux types d'eau peuvent être exposés à des risques de contamination provenant d'activités agricoles, industrielles et domestiques, qui peuvent inclure de nombreux types de polluants tels que les métaux lourds, les pesticides, les engrais, les produits chimiques dangereux et les huiles. (Hassan)

2 .2.4.1. Eaux de surfaces

Les eaux de surfaces englobent toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable.

Les eaux de surfaces peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles comme les retenues de barrages où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur (Degrémont).

2 .2.4.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux de sous-sol qui constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Les eaux souterraines sont en interaction avec les autres types de masses d'eau, d'une part les eaux douces continentales (cours d'eau, zones humides, lacs...) et d'autre part avec les eaux marines en bordure littorale. Le sens de ces transferts peut varier au cours de l'année en fonction des conditions hydrologiques. Elles assurent souvent le débit de base des systèmes d'eaux continentales superficielles et de ce fait influencent leur qualité. En d'autres termes, les effets de l'activité humaine sur la qualité des eaux souterraines et les débits des nappes peuvent se répercuter sur la pérennité et la qualité écologique des écosystèmes aquatiques associés et des écosystèmes terrestres directement dépendants (Kaid Rassou, 2009). Les eaux souterraines sont traditionnellement les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car elles sont plus à l'abri des pollutions que les eaux de surface (Guergazi et al. 2005). La protection des eaux souterraines est devenue un objectif majeur dès les années 1970 (Bohy, 2003).

En outre, les eaux souterraines assurent le débit de base des réseaux hydrographiques de surface, en alimentant ces réseaux tout au long de l'année. La composition et la qualité des eaux souterraines sont à l'origine liées à la nature géologique

du terrain. Ils ont un impact direct sur celle des eaux de surface, ainsi que sur les écosystèmes aquatiques et terrestres associés. Les eaux usées domestiques et industrielles souvent déversées directement dans les oueds, participent fortement au changement de la qualité des eaux souterraines (Abdelbaki et al. 2007).

Les eaux souterraines sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, mais la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture ainsi que le développement industriel entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette ressource souterraine, déjà en quantité limitée. Dans la zone étudiée, le développement agricole entraîne souvent une pollution rapide des eaux souterraines par les formes chimiques de l'azote, surtout par les nitrates, en raison de leur grande solubilité. Les autres formes chimiques de l'azote (nitrites et ammonium) apparaissent seulement dans des conditions réductrices. L'azote est présent au niveau de la zone d'étude sous trois formes chimiques (nitrates, nitrites et ammonium) (Gaagai. 2009). Sa présence dans les eaux souterraines est liée souvent à l'utilisation intensive des engrais chimiques (Bouafia. 2015).

2.2.4.3. Qualité des eaux souterraines

Au fur et à mesure que les ans s'écoulent, la population s'accroît en s'accéléralant, augmente de plus en plus ses besoins unitaires en eau, pour elle-même et pour toutes ses activités, agriculture, industrie, etc. Elle distrait de l'hydrosphère des quantités de plus en plus croissantes d'eau dont une grande partie, ce qui est pire, a pour fonction d'entraîner les déchets de ses productions.

Les modifications de la qualité des eaux souterraines sont causées directement ou indirectement par diverses activités de l'homme. Les influences directes émanent de substances naturelles ou artificielles qui sont introduites par l'homme dans le cycle géochimique de la terre et atteignent finalement la zone des eaux souterraines. Les influences indirectes doivent être considérées comme les changements de qualité qui se produisent sans addition de substances par l'homme dans les processus hydrologiques, physiques et biochimiques. Des transitions se produisent entre les influences directes et indirectes, par ex. lorsqu'elle est rechargée artificiellement et filtrée sur les berges, l'eau de rivière contenant des Constituants nocifs se mélange aux eaux souterraines. (Matthess)

La préservation et la sauvegarde de cette ressource est donc une nécessité (sur le plan qualitatif et quantitatif) qui concerne à la fois ses usages et sa valeur environnementale. (Quevauviller)

2.3. RESSOURCES EN EAU SAHARA ALEGRIA

Au Sahara, les ressources en eaux de surfaces sont localisées dans l'Atlas saharien, et dans les régions de Hoggar et Tassili.

De plus, les crues sont rares et proviennent du grands Atlas marocain et du versant des Aurès. Les ressources en eau souterraine constituée par les eaux renouvelables localisées dans les inféro-flux du versant Sud des Aurès, le Hoggar et Tassili à l'Est et la région de Bechar et Tindouf à l'Ouest. Ainsi, les eaux non renouvelables représentées par deux grands réservoirs des deux bassins sédimentaires, le complexe Terminal et le continental Intercalaire.

2.3.1. Systèmes Aquifères

Le Sahara renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines. Certains auteurs pensent que les eaux des nappes du Sahara sont fossiles (Burdon.1977 ; Margat et Saad, 1982 et 1984 ; Margat, 1990), c'est-à-dire qu'elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques.

En Algérie, le Système Aquifère du Sahara Septentrional désigne la superposition de deux principales couches aquifères profondes (Figure.08) : la formation du Continental Intercalaire, CI, et celle du Complexe Terminal, CT. Ce Système recouvre une étendue de plus de 700.000 km² (OSS.2003).

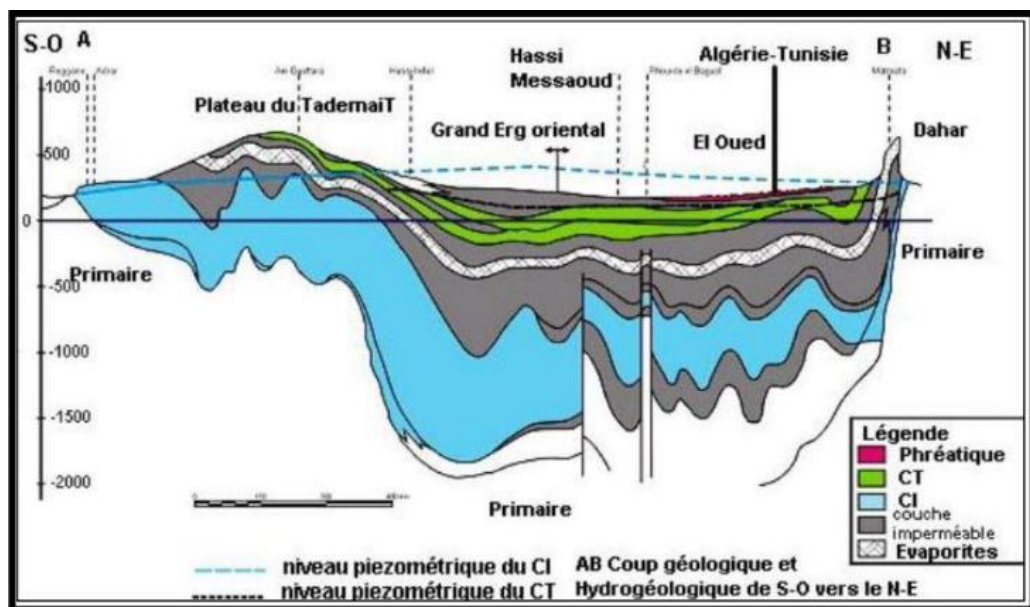


Figure 08: Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (Unesco.1972).

2.3.1.1. 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.

A. La nappe superficielle (phréatiques)

La nappe phréatique est présente dans l'ensemble du Sahara algérien et est située dans les dépôts d'alluvions des vallées de la région. La profondeur du niveau d'eau varie entre 10 et 30 mètres.

Alimentées notamment par les eaux de pluies, d'irrigations, les eaux domestiques, les crues, les eaux de drainages et les eaux souterraines (sources) en provenant des aquifères plus profondes.

Ces nappes sont exploitées par de nombreux puits traditionnels, principalement dans le but d'irriguer les palmeraies des vallées. En ce qui concerne la qualité chimique des eaux de la nappe des oueds M'Zab et Metlili, elles sont considérées comme étant de bonne qualité pour la consommation en amont, mais sont devenues mauvaises voire impropres à la consommation en aval, en raison de leur contamination par les eaux urbaines (Bensseddik.2018).

B. La nappe albienne:

La nappe albienne constitue la principale ressource en eau de la région. Cet aquifère est composé de sables, de grès et d'argiles sableuses d'âge Albien. Selon la localité, la nappe est captée à des profondeurs allant de 80 à 1000 mètres.

En fonction de l'altitude de la zone et de la variation de l'épaisseur des formations géologiques postérieures à l'Infra lias (CI), la nappe peut être jaillissante et présenter des pressions élevées au niveau des points de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, Hassi Lafhel et Hassi Gara. Elle est exploitée par pompage à des profondeurs allant de 0,5 mètre à 140 mètres dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansourah et certaines régions de Del Menia.

La couche exploitée a une profondeur d'environ 200 mètres à Golea, 300 mètres à Mansourah, 400 à 450 mètres dans la vallée du M'Zab, et plus de 800 mètres à Guerrara et Zelfana (Bensseddik.2018).

2.4. METHODOLOGIE D'ETUDE

Dans le but d'étudier la qualité physico-chimique des eaux des 16 forages étudiés (région Metlili wilaya de Ghardaïa), nous avons effectué un ensemble des analyses de nos échantillons au niveau de laboratoire de l'établissement de l'ADE (Algérienne Des Eaux)

Tous les paramètres étudiés, les matériels et les méthodes utilisés dans notre étude sont résumés dans le tableau 01.

Tableau 01 : Les paramètres étudiés, matériels utilisés et les méthodes d'analyses

Paramètre	Matériel	unité	Méthode
Analyse de l'eau			
A- Paramètres physico-chimiques			
Température (T) et Ph	pH mètre WTW pH 3110	C° ; /	NF T90-008
Conductivité électrique (CE)	Conductivité mètre (lovibond con 200)	mS/c m	(Rodier .et al.2009)
O ₂ dissous	Oxymètre type lovibond Oxi 200	mg/l	
TH et TAC	/	mg/l	NFT90.036
Sodium (Na ⁺) et Potassium (K ⁺)	photomètre à flamme PF-7.	mg/l	Méthode NA1652
Calcium (Ca ⁺²)	/	mg/l	Méthode titrimétrique à l'EDTA
Magnésium (Mg ⁺²)	/	mg/l	$Mg^{+2} = TH - Ca^{+2}$
Chlorure (Cl ⁻)	/	mg/l	Méthode de Mohr
Nitrite (NO ₂ ⁻)	Spectrophotomètre type DR6000	mg/l	ISO 6777
Fer(Fe)	spectrophotomètre type DR6000	mg/l	ISO 6332
Sulfate (SO ₄ ⁻²)	Méthode gravimétrique au chlorure de baryum	mg/l	(Rodier . et al. 2009)

2.5. ÉCHANTILLONNAGE

Selon l'objectif des analyses l'échantillonnage a été effectué manuellement pour les influents, dans des flacons bien propres en polyéthylène ou en verre borosilicate stérilisés , étiquetés sur lesquels on a mentionné le

lieu, la date et l'heure du prélèvement de l'eau ; qu'ils sont transportés au laboratoire dans une glacière à une température comprise entre 4°C et 6°C dans les 24 heures pour assurer une conservation satisfaisante, adapter au guide général pour la conservation et la manipulation des échantillons AFNOR NF EN 25667(ISO 5667/3)(Rodier .et al. 2009).

Les paramètres de température, conductivité électrique, l'oxygène dissous sont mesurées en site

2.6. CARACTÉRISTIQUES DES EAUX

A. Le pH

Le pH est un indicateur de la qualité de l'eau. Qui représente l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH dépend de l'équilibre calco-carbonique :



Les eaux très calcaires ont un pH élevé et celles provenant des terrains pauvres en calcaire ou siliceux ont un pH voisin de 7.

Le traitement de l'eau de boisson peut modifier sensiblement la concentration de l'ion hydrogène, de plus lorsque le pH est supérieur à 8, il y a diminution progressive de l'efficacité de la décontamination microbienne par le chlore (Moumouni . 2005)

La mesure est réalisée à l'aide d'un pH mètre de type WTW pH 3110, muni d'une électrode préalablement étalonné avec des solutions tampon pH=4 puis pH=7. La méthode a consisté à plonger l'électrode dans l'échantillon contenu dans un bêcher. On note la valeur de pH après stabilisation de l'affichage sur le cadran du pH mètre (Djani. 2021).

B. Température (C°)

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle influe sur la densité de l'eau et joue un rôle primordial dans les phénomènes de stratification des lacs et des mers. Une élévation de la température perturbe fortement le milieu et elle peut être un facteur d'accroissement de la productivité biologique (Bedouh.2014).

On mesure la température par le pH mètre qui l'affiché directement avec la valeur de pH.

C. Conductivité électrique (CE) (mS/cm)

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. La conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau. Ainsi, plus la concentration en solide dissous sera importante, plus la conductivité sera élevée. La mesure ne permet toutefois pas de déterminer quels sont les ions qui produisent cette conductivité (Brémaud . et al. 2006). L'unité de mesure communément utilisée est Siemens (S/cm) exprimé souvent en micro siemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en millisiemens (mS/cm).

La mesure est faite à l'aide d'un conductimètre de type lovibond con 200.

D. Oxygène dissous (O_{diss}) (mg/l)

La mesure d'oxygène dissous a été effectuée à l'aide d'un oxymètre de type lovibond Oxi 200.

E. Sodium (Na^+) et potassium (K^+) (mg/l)

Ils sont déterminés à l'aide d'un photomètre à flamme PFP7, selon la méthode NA1652

F. TH et TAC (mg/l)

La détermination de l'alcalinité (titre alcalimétrique simple (TA), et complète (TAC)), par la méthode NFT90.036.

G. Calcium (Ca^{+2}) et Magnésium (Mg^{+2}) (mg/l)

L'ion calcium est issu essentiellement de la dissolution de calcite, dolomite, et du gypse. Le dosage de calcium se fait par la méthode complexométrie. Titrage par complexométrie du calcium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène- diamine tétracétique (EDTA). L'acide calcone carboxylique qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme un indicateur (Ben Abderrahmane. 2022).

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium. La mise en solution de cet ion dans l'eau prend beaucoup de temps, il provient de la dissolution des roches magnésiennes, dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens, il provient aussi des formations métamorphiques tels que les micaschistes (Gaagai. 2017) .

Le magnésium est un élément indispensable pour la croissance. A partir d'une concentration de 100 mg/L et pour des sujets sensibles, le magnésium donne un goût désagréable à l'eau (Chaouki. et al. 2013).

On estimé la concentration de magnésium par la formule suivante :

$$\text{Mg}^{+2} = \text{TH} - \text{Ca}^{+2}$$

H. Les chlorures (Cl^-) (mg/l)

En général, les chlorures sont présents dans eaux à l'état brut et transformés à des concentrations allant de petites traces jusqu'à plusieurs centaines de mg/l. Ils sont présents sous la forme de chlorures de sodium, de calcium et de magnésium (Funasa. 2013).

On déterminer la concentration de chlore par la méthode de Mohr.

I. Azote nitreux (N-NO_2^-)

Les nitrites ou azote nitreux, représentent une forme moins oxygénée et moins stable. C'est un passage entre les nitrates et l'ammonium, c'est une forme toxique. Les nitrites sont réponsus dans le sol, les eaux et dans les plantes mais en quantités relativement faibles. Dans les eaux de surface leurs

teneurs excèdent rarement 0.1mg/l, il est toutefois important de signaler que les eaux de contact avec certains terrains peuvent contenir des nitrites indépendants de toute souillure (Rondeau. 2005).

Les nitrites sont dosés par spectrométrie selon la méthode normalisée (ISO 6777).

J. Fer (Fe) (mg/l)

Le fer est un élément métallique présent dans de nombreux types de roches. Ce métal est aussi souvent présent dans l'eau. Il s'agit d'un élément indispensable, en petites quantités, à tous les organismes vivants. Le fer peut s'accumuler et bloquer les tuyaux ou les raccords, et se détacher en particules ou sédiments, procurant à l'eau une apparence et un goût désagréables. Il n'y a pas de risque pour la santé aux concentrations généralement présentes dans l'eau potable (Djani. 2021).

Le dosage de fer se fait par spectrométrie à la Phénantroline^{1.10} selon la norme ISO 6332.

K. Les sulfates

Les sulfates (SO_4^{2-}) proviennent du ruissellement ou d'infiltration dans les terrains à gypse et par l'oxydation des sulfures en sulfates dans les déchets miniers. Les principales sources industrielles sont les effluents des tanneries, des ateliers de décapage métallique, des usines de textile et des fabriques de pâtes et papiers. Les ions sulfates sont très solubles et leur concentration est très variable dans les eaux naturelles (Nehme.2014).

La méthode de dosage se fait par gravimétrie. Les ions SO_4^{2-} sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués par gravimétrie (Rodier. et al. 2009). En présence de baryum, les sulfates précipitent à l'état de sulfate de baryum maintenu en suspension homogène au moyen de polyvinylpyrrolidone. Pour éviter la précipitation des carbonates, chromates, phosphates et oxalate de baryum, la réaction est effectuée en milieu acide (Rodier et al. 2009)

2.7. ETUDE DES BESOINS EN EAU

L'importance de l'étude des besoins en eau potable de la zone étudiée et de étudier la satisfaction des forges, donc on a besoin de :

2.7.1. Etude démographique

La population de la région de Metlili pour l'année 2023 été estimé par la relation suivante :

$$P_f = P_{(i)} \times (1+T)^n$$

P_f : population de future (2023) ;

p_i : population actuelle (2020);

T : le Taux d'occupation par logement ;

n : la déférence entre les années.

2.7.2. Etude des besoins de la population

Estimer la demande en eau des agglomérations nécessite de Donner à chaque type de consommateur une norme fixe. Cette norme L'unité (dotation) est définie comme le débit journalier avec Unité de consommation (agent, étudiant, lit, etc.). Cette estimation de l'eau dépend de plusieurs facteurs, (Population, assainissement, niveau de vie de la population).

Cela varie aussi d'une fois à l'autre. Pour la commune de Metlili, la dotation est fixée à 150 litres/jour/habitant.

Les besoins en eau potable sont calculés selon la formule suivante :

$$Q_{\text{moyj}} = \text{dot} \times \text{Pop}$$

Q_{moyj} : le débit moyen journalier en m³ /j ;

dot : c'est la dotation dans ce cas on la prend 150 l/hab/j ;

Pop : la population de Metlili (2023)

2.7.3 .Etude des besoins des équipements

Dans l'absence d'inventaire détaillé des consommations des installations de la ville de Metlili, on estime donc leurs besoins représentent 20% de la population.

$$Q_{\text{eq}} = 20\% \times Q_{\text{moyj}}$$

Avec :

Q_T : c'est le débit total.

Q_{moyj}: le débit moyen journalier en m³ /j.

Q_{ep} : c'est le débit concernant les équipements

2.7.4. Etude des besoins en eau total

C'est le volume d'eau des besoins domestiques et des équipements :

$$Q_t = Q_{\text{moyj}} + Q_{\text{eq}}$$

Avec :

Q_T : c'est le débit total.

Q_{moyj} : le débit moyen journalier en m^3/j .

Q_{E_p} : c'est le débit concernant les équipements

2.7.5. Le débit de pointe

La consommation d'eau peut être bien supérieure à qui est le débit moyen ; Un facteur appelé facteur de crête de K_p est alors appliqué. Le pourcentage de points est calculé en utilisant la relation suivante :

$$Q_p = K_p \times Q_t$$

Avec :

Q_p : débit de point en l/s ;

K_p : coefficient de pointe ($K_p = K_h \times K_j$) on prend ($K_p = 3$)

Q_{moyj} : débit moyen journalière en m^3/j ;

CHAPITER 03

Résultats et discussion

Notre étude été apporté pour étudier la qualité physico-chimique c forages dans la région de Metlili ces derniers sont destinés à la potabilité figure.09 montre la localisation de ces forages. Le tableau 05(dans l'annexe) présente les noms des forages et les résultats de l'ensemble des analyses effectuées.

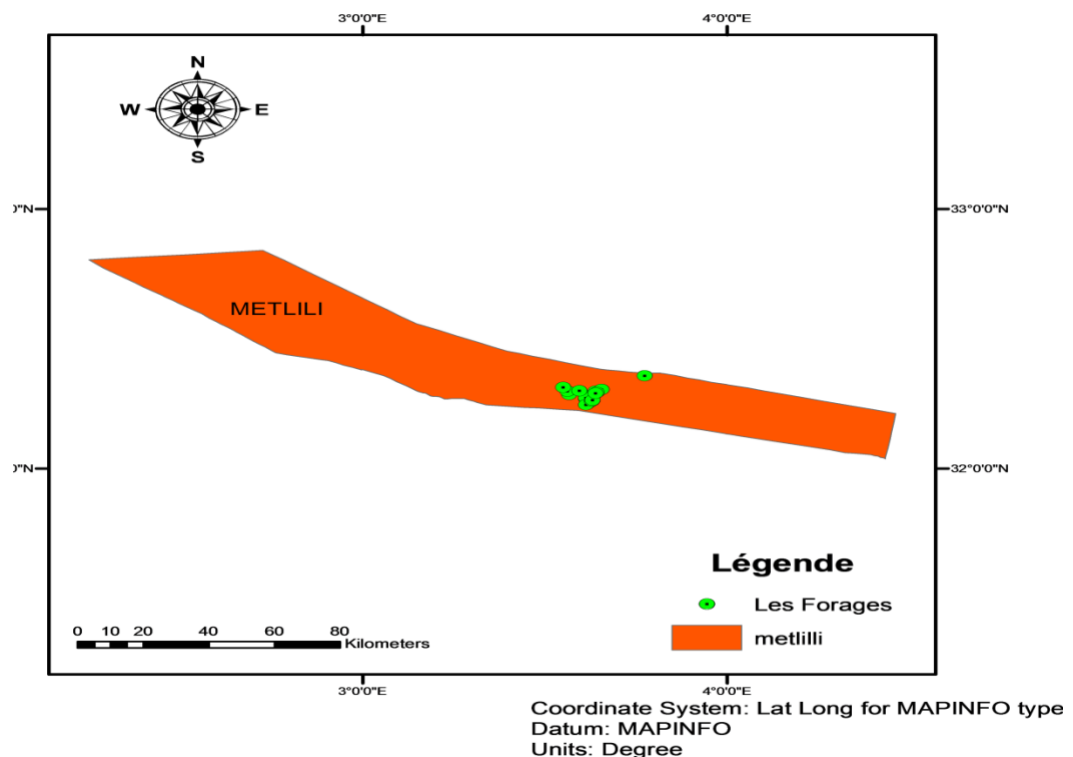


Figure 09 : Localisation des 16 forages étudiés de la zone de Metlili

3.1. ETUDE DE HYDROCHIMIE DES EAUX

3.1.1. Etude physico-chimique

A. PH (Potentiel d'hydrogène)

La mesure du pH des eaux usées donne une indication sur l'alcalinité ou l'acidité de ces eaux. Il est important pour la croissance des micro-organismes qui ont généralement un pH optimal variant de 6,5 à 7,5[80].

Le pH obtenu est comprise entre 6.76 et 7.29. Ces valeurs sont conformes aux normes nationales (Jora.2011), Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité ; à pH 7 une eau est dite neutre, à un pH inférieur à 7 une eau dite acide et à un pH supérieur à 7, elle est dite basique. Les eaux analysées ont un pH voisin de la neutralité avec un caractère plus alcalin.

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés, il varie habituellement entre 7,2 et 7,6. C'est d'ailleurs à l'intérieur de ces deux valeurs que se situe généralement le pH des eaux distribuées aux collectivités, Un pH élevé peut conduire à des dépôts incrustants dans les circuits de distribution. De plus, au-dessus de pH 8, il y a une diminution progressive de l'efficacité de la décontamination microbienne par le chlore. Par ailleurs, la chloration diminue le pH (Rodier .et al. 2009).

Pour l'eau destinée à la consommation humaine, l'OMS ne fixe pas de valeur mais précise qu'un faible pH peut poser des problèmes de corrosion et un pH élevé entraîner des problèmes de goût et de consommation accrue de savon ; elle recommande un pH inférieur à 8 pour une bonne désinfection par le chlore. Généralement, le pH n'a pas d'effet direct sur la santé humaine, mais les valeurs de pH extrême provoquent la corrosion des canaux de distribution (Oms. 2004).

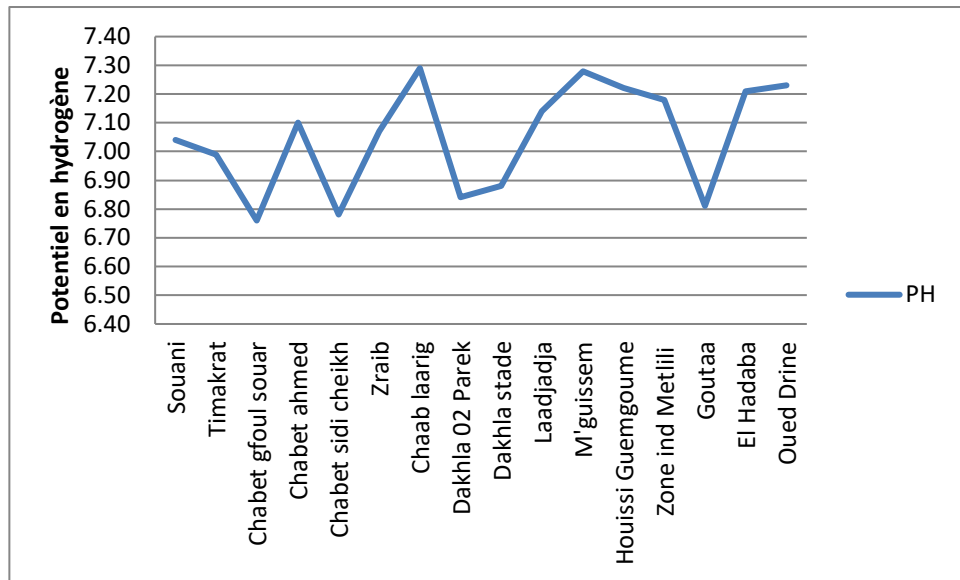


Figure 10 : Variation de pH des eaux de la nappe CI de Metlili.

B. L'oxygène dissous

La présence d'oxygène dissous dans les eaux est primordiale pour la vie aquatique, c'est un paramètre d'une extrême importance pour apprécier l'impact d'une pollution organique (Le Pinpuc .et al. 2002).

La figure 11 montre que les valeurs de l'oxygène dissous variées entre 7.09 et 8.21mg/l ; la légère variation des valeurs on la justifier par la légère variation des profondeurs des forages.L'enrichissement des eaux des puits en O₂ est dû à l'aération du puits et la présence de la matière organique dans les eaux (Lkebir. 2013).

D'prés la figure certaine forage prend la valeur de zéro (0), cela est dû au manque de mesure.

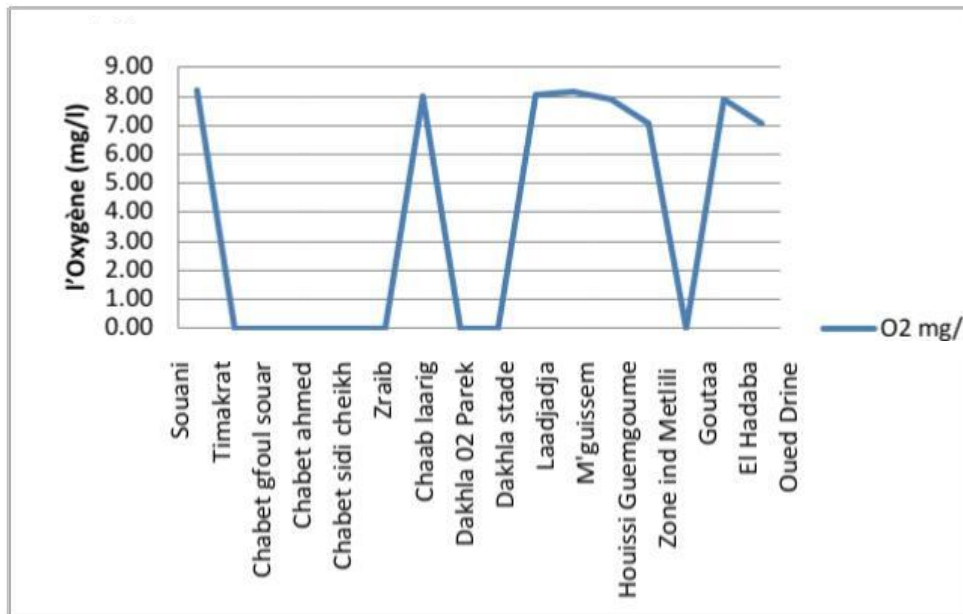


Figure11 : Variation de l'oxygène dissous des eaux de la nappe CI de Metlili.

C. Titre hydrotimétrique (TH) et les titres alcalimétriques (TAC).

L'ancienne importance donnée à la maîtrise de la dureté des eaux et aux différentes épurations chimique d'adoucissement consécutives a entraîné l'expression de titres particuliers relatifs à la dureté de l'eau et à son alcalinité et qui sont le titre hydrotimétrique (TH) et les titres alcalimétriques (TAC et TA) (Berne et Cordonnier.1991)

a) Titre hydrotimétrique (TH)

La dureté d'une eau est due à la présence d'ions métalliques bivalents, Ca^{2+} et Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Sr^{2+} , etc... Les plus abondants étant les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . En pratique, on considère souvent que la dureté totale d'ions eau de consommation est égale à la somme de sa dureté calcique et de sa dureté magnésienne (dureté deux aux ions Ca^{2+} et Mg^{2+}) (Raymond. 2007), un autre défini TH comme suivant : La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à

la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène (Rodier . et al ; 2009).

La figure 12 montre que les concentrations de TH variées entre 381 et 771 mg/lde CaCO_3 . Les eaux de forage de Laadjadja, M'guissem et zone de Metlili ont des teneurs très élevés variés entre 771 et 748 mg/lde CaCO_3 . Pour les trois forages suivant : Houissi Guemgouma, EL Hadaba et Oued Drine les concentrations oscillent entre 587 et 599 mg/lde CaCO_3 et ce qui est lié au reste forage les concentrations variées entre 462.95 et 539.20 mg/lde CaCO_3 .

Comme nous notons que la présence de TH dans l'eau est très élevée, d'après les normes de potabilité des eaux établies par (Jora. 2014) l'ensemble des valeurs de la dureté totale la plus part des forages ne sont conformes ce qui montre que les eaux sont très dures. Il n'est pas facile de définir un niveau entre ce qui constitue une eau dure et une eau douce. Cependant, on peut considérer qu'une eau ayant une teneur inférieure à 75 mg/L de CaCO_3 (c'est-à-dire 7,5 ° de TH calcique) ou à 30 mg/L de Ca est une eau douce et qu'au-dessus, il s'agit d'une eau dure. Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevées susceptibles d'atteindre 1 g/L de CaCO_3 . Par contre, les eaux en provenance de terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront des duretés très faibles (Rodier et al, 2009).

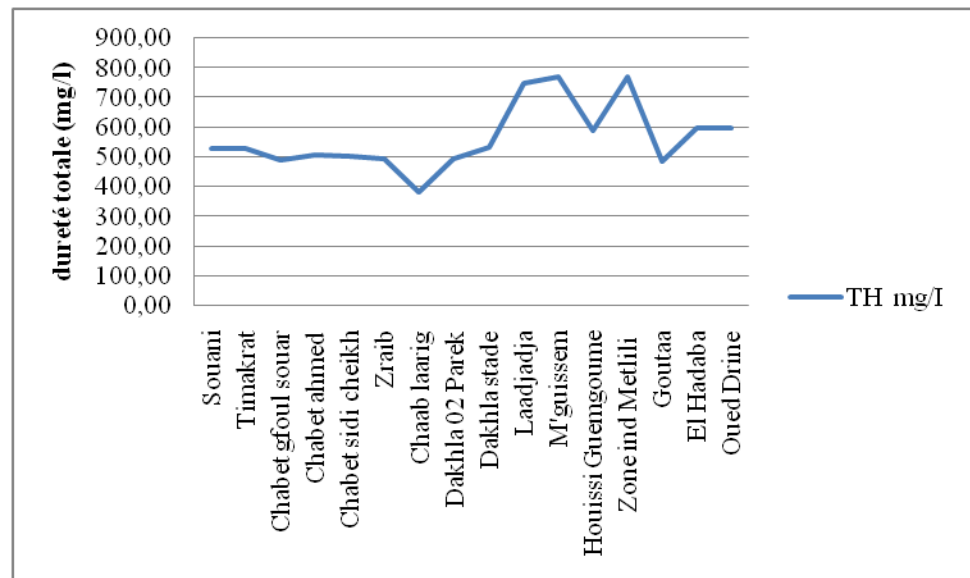


Figure 12: Variation de TH des eaux de la nappe CI de Metlili.

b) Titre alcalimétriques (TAC)

L'alcalinité est mesurée par la somme des anions bicarbonates, carbonates et hydroxydes alcalins (Na, K) ou alcalino-terreux (Ca, Mg). Il est exprimé par l'alcalinité totale (TAC).

D'après la figure 13 les concentrations de TAC variées entre 103.20 et 163F°. Le forage de Laadjadja, M'guissem et Houissi Guemgouma prennent des minimales valeurs 103F°; le forage de Zraib et Oued Drine prennent des valeurs plus élevés 160 et 163F° respectivement. Pour les autres forages les concentrations de TAC oscillent entre 115.20 et 150,99.

Il est important de déterminer la concentration de bicarbonate d'une eau destinée à l'irrigation, une eau riche en carbonates et en bicarbonates aura tendance à favoriser la présence d'un dépôt sur le feuillage et devrait idéalement être apportée au sol (subirrigation) plutôt que sur le feuillage (aspersion) (Claude et Gilbert. 1962), selon FAO la concentration de HCO_3^- pour l'aspersion sur frondaison 8.5még/l (Fao.1990.2003). Plusieurs techniques d'aménagement permettent de remédier à ce problème si l'on doit utiliser l'aspersion, comme : (a) irriguer la nuit pendant les périodes critiques ; (b) augmenter la vitesse des asperseurs, (c) ne pas utiliser d'asperseurs qui brisent les gouttelettes en particules très fines; (d) éviter l'arrosage par aspersion pendant les périodes de faible humidité ; (e) changer de méthodes d'irrigation ; et (f) n'utiliser les asperseurs que pendant la période la plus fraîche de l'année (Fao.1990).

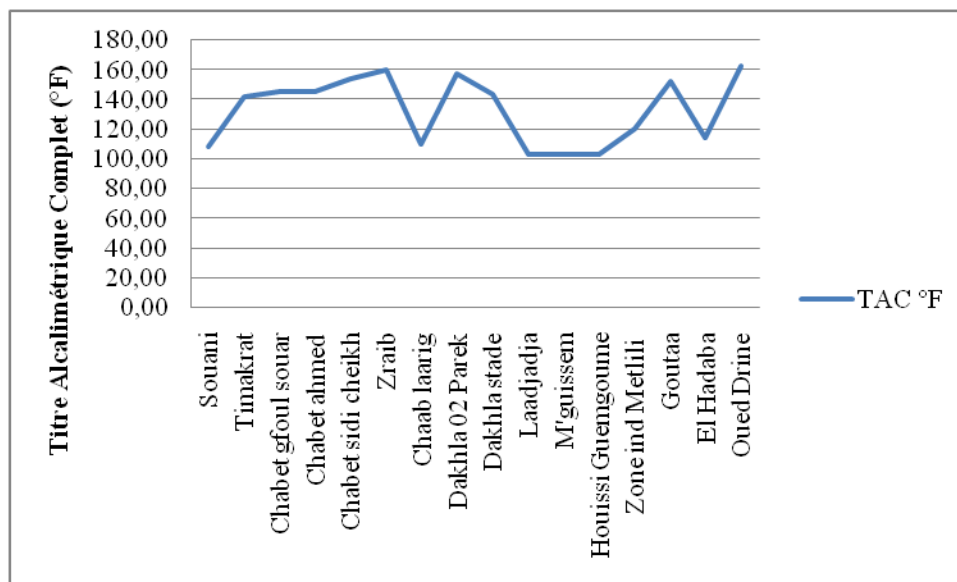


Figure13 : Variation de TAC des eaux de la nappe CI de Metlili.

D. Calcium (Ca^{2+})

Les concentrations de Ca^{+2} variées entre 94.09 et 178.50 mg/l, le forage de Chaab laarig prend une minimale valeur par conter le forage de Laadjadja prend la maximale valeur.

Comme la figure montre, la plupart des forages prennent des valeurs entre 94.09 et 110.96 mg/l. Le forage de Laadjadja et M'guissem prennent des concentrations très élevé 161.92 et 178.50mg/l respectivement.

D'après les résultats des analyses les teneurs de Ca^{+2} conformes aux normes nationales (Jora.2011) (200mg/l). À titre indicatif, les anciennes directives du Conseil des communautés européennes indiquaient comme teneur du calcium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 100 mg/L. (Rodier.et al, 2009).

Selon (Baziz.2008) ; Merouani et Bouguedah.2013), Ca^{+2} est un élément dominant dans les eaux potables. Composant majeur de la dureté de l'eau. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorures...etc.

Les eaux potables de bonne qualité renferment de 100 à 140 mg/L de calcium soit 150 à 200mg en CaO ou 250 à 350 mg en CaCO_3 . En dehors de certaines manifestations gustatives, les eaux qui dépassent 200 mg/L de calcium présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières.

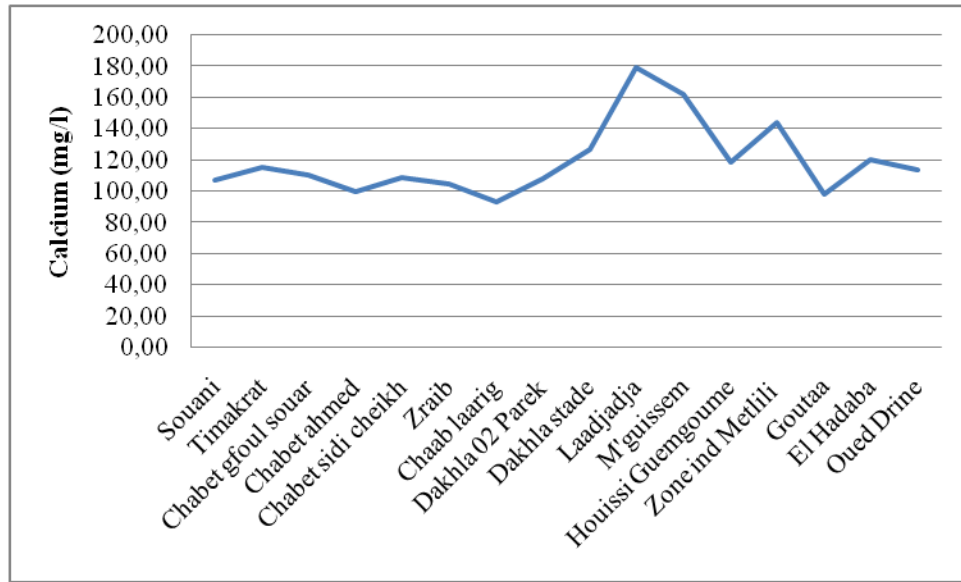


Figure 14: Variation de Ca^{2+} des eaux de la nappe CI de Metlili

E. Sodium (Na^+)

D'après la figure 15 les concentrations de Na^+ varient entre 118,18 et 221,42 mg/l, les forages de Chabet Sidi Cheikh et Goutaa et Timakrat et Chaab laarig prennent des minimales valeurs; en revanche le forage Laadjadja et M'guissem prennent des maximales valeurs de 221,42 mg/l.

La plupart des forages prennent des valeurs de Na^+ variées entre 136 et 170 mg/l.

Comme nous notons que la présence de Na^+ dans l'eau est en forte concentration peut être traduite par l'utilisation des traitements chimiques par l'hypochlorite de sodium. Ce qui agit sur la qualité organoleptique de l'eau et peut déclencher des effets néfastes sur la santé publique telle que l'hypertension artérielle. L'absorption de quantités relativement importantes de sodium peut être dangereuse chez certains malades. C'est le cas des sujets qui souffrent d'accidents vasculaires cérébraux, de thrombose coronaire, d'hypertension...etc. L'OMS recommande une valeur limite de 200 mg/L, fixée d'après des critères gustatifs. Dans l'état actuel des choses, il n'existe pas

d'argument suffisant pour justifier la fixation d'une valeur indicative pour le sodium dans l'eau sur la base d'un risque sanitaire. (Makhloufi. et al. 2011)

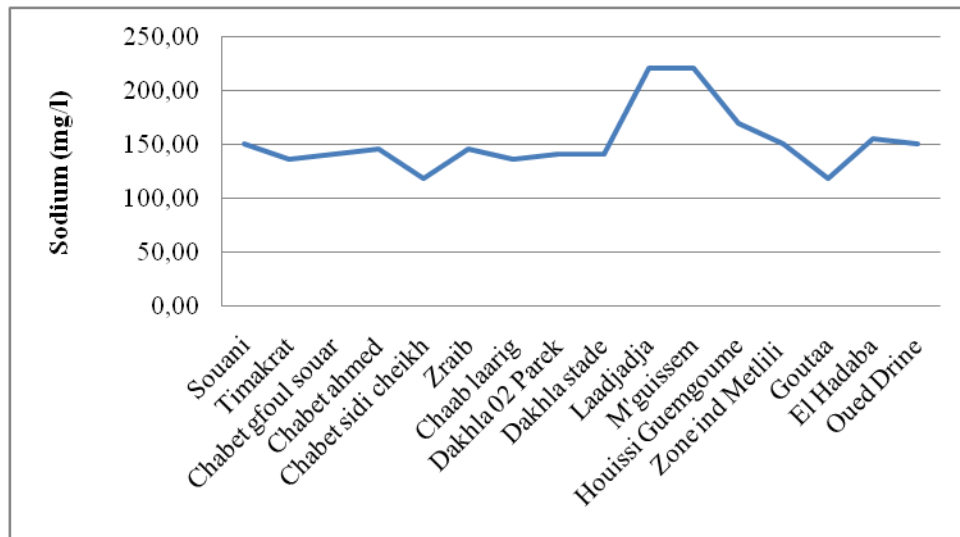


Figure 15 : Variation de Na^{+2} des eaux de la nappe CI de Metlili

F. Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est présent dans toutes les eaux naturelles. Il s'agit d'un élément indispensable, en petites quantités, à tous les organismes vivants. Le magnésium contribue de façon importante à la dureté de l'eau. Une eau trop dure peut avoir des effets sur le fonctionnement et la durée de vie d'un système de plomberie et des appareils ménagers.

Apartir de la figure 16 les teneurs oscillent entre 36.20 et 99.87 mg/l ; le forage de zone de Metlili prend la valeur de 99.87 mg/l par contre on enregistre la minimum valeur dans les eaux de forage Chaab laarig. La plus part des forages ayant des concentrations compris entre 52 et 75mg/l. D'après la norme algérienne toutes les valeurs enregistrées rependent à la norme algérienne des eaux potable 150mg/l.

Comme nous notons que la présence de Mg^{+2} dans l'eau est en La concentration élevée de magnésium rend l'eau de mauvaise qualité organoleptique. Lesvaleurs les plus faibles sont relevées dans la plupart des

eaux des massifs anciens. L'interprétation du taux de magnésium dans l'eau doit se faire en liaison avec les sulfates. Élément essentiel de la nutrition chez l'homme et l'animal, le magnésium est aussi un composant de tous les types de chlorophylle. Il joue le rôle de stabilisateur de la membrane cellulaire en protégeant la cellule contre une rétention de sodium.

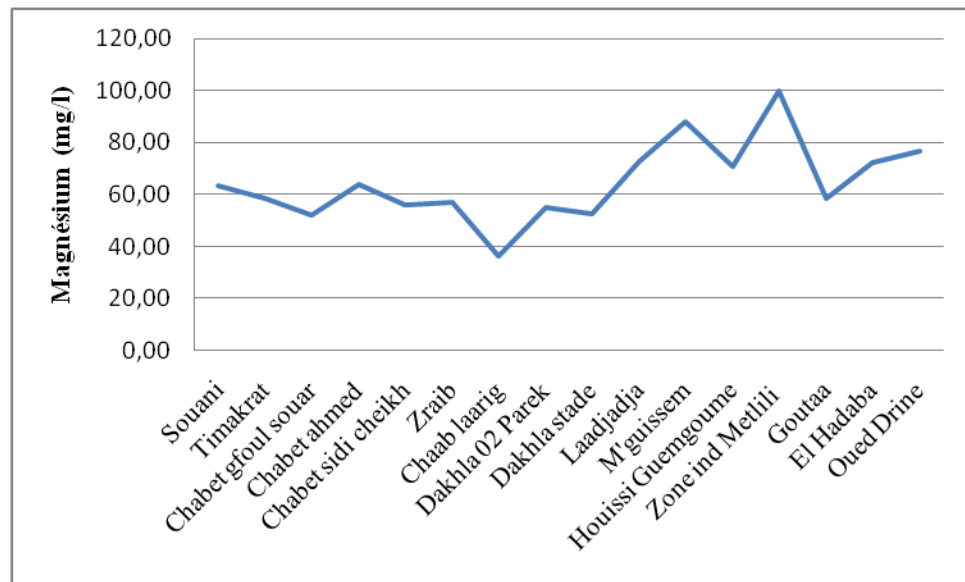


Figure 16 : Variation de Mg^{+2} des eaux de la nappe CI de Metlili

G. Potassium (K^+)

La figure 17 présente la variation de potassium de nos échantillons, les concentrations de K^+ variées entre 6.87 et 11 mg/l.

Le forage d'Oued Drine, Goutaa et zone de Metlili prennent des maximales valeurs. Le forage de Timakrat, Chabet ahmed, Dakhla 02 Parek, Dakhla stade et Houissi Guemgouma prennent des minimales valeurs en revanche le forage de Souani, Chabet gfoul Souar, Shaab laarig, Laadjadja et M'guissem ayant des teneurs de 7.5 mg/l.

Bien que dans les roches ignées la teneur en potassium soit presque aussi importante que celle du sodium, sa présence à peu près constante dans les eaux naturelles ne dépasse pas habituellement 10 à 15 mg/l. À titre indicatif, les anciennes directives du Conseil des

communautés européennes indiquaient comme teneur du potassium dans l'eau destinée à la consommation humaine un niveau guide de 10 mg/L et une concentration maximale admissible de 12 mg/L. (Rodier. et al. 2009). Comme nous notons que la présence de K^+ dans l'eau est en conformes aux normes Algérienne d'eau potable (12mg/l) (Jora.2011).

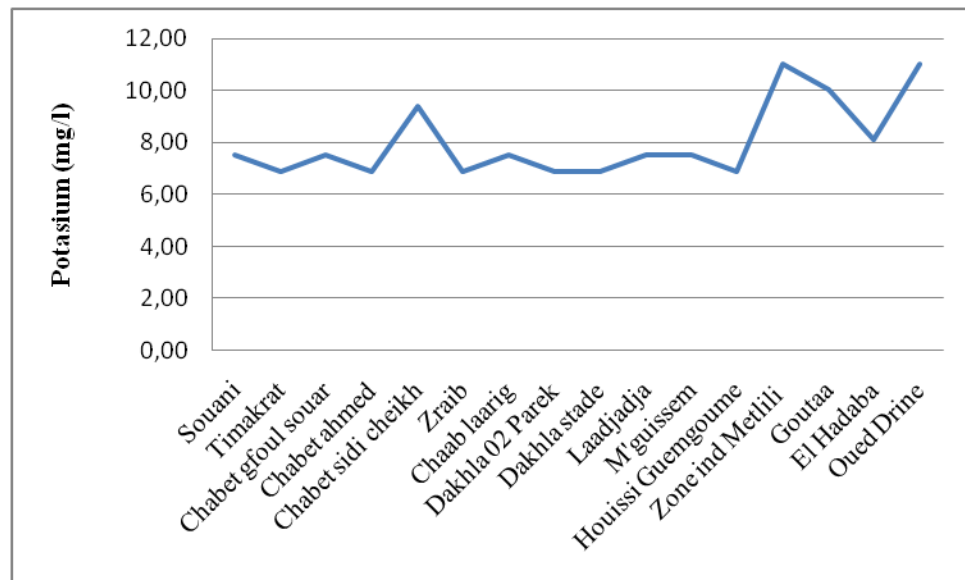


Figure 17 : Variation de K^+ des eaux de la nappe CI de Metlili

H. Fer (Fe^{2+})

Le fer est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux (Fe^{2+}), le fer ferrique (Fe^{3+}) et le fer complexé à des matières organiques (acides organiques) et minérales (silicates, phosphates, ...). On trouve souvent ce fer complexé dans les puits et les eaux de surface : il leur donne une couleur jaune ou marron. Le fer est également un élément trace essentiel qui joue un rôle primordial dans le sang et les enzymes (Djaani. 2021)

D'après la figure 18 les valeurs oscillent entre 0 et 0,058 mg/l. Comme nous notons que la présence de Fe^{2+} dans l'eau est en sont inexistantes, nul (= 0), et la norme Algérienne d'eau potable successivement très faible (0,3 mg/l). Donc les eaux sont conformes.

Ce niveau de 0,2 mg/L, s'il est respecté, semble trop faible pour présenter un risque pour la santé. Des taux plus élevés de fer, en revanche, pourraient augmenter les risques de maladies cardiovasculaires et de cancers. Par exemple on sait que le métal non absorbé favorise la production dans le côlon de radicaux libres, ces agents du vieillissement cellulaire. En réagissant avec la flore colique, le fer pourrait se comporter comme un facteur de risque du cancer. Le fer, en trop grande quantité, est également impliqué dans plusieurs maladies neuro dégénératives comme Alzheimer et la Chorée de Huntington. La réduction de la quantité de fer à l'intérieur des neurones permet de diminuer les symptômes chez les malades souffrant d'une de ces deux maladies (Collectif La Nutrition. 2008)

Le fer est indispensable au bon développement des végétaux, et leur utilisation en agriculture ne pose pas de problèmes pour la santé humaine. Ils sont naturellement présents en forte proportion dans le sol. En agriculture, le fer est un élément qui intervient dans la synthèse des éléments organiques indispensables à la vie des plantes (Zobeidi . 2017), (Tamrabet . 2011).

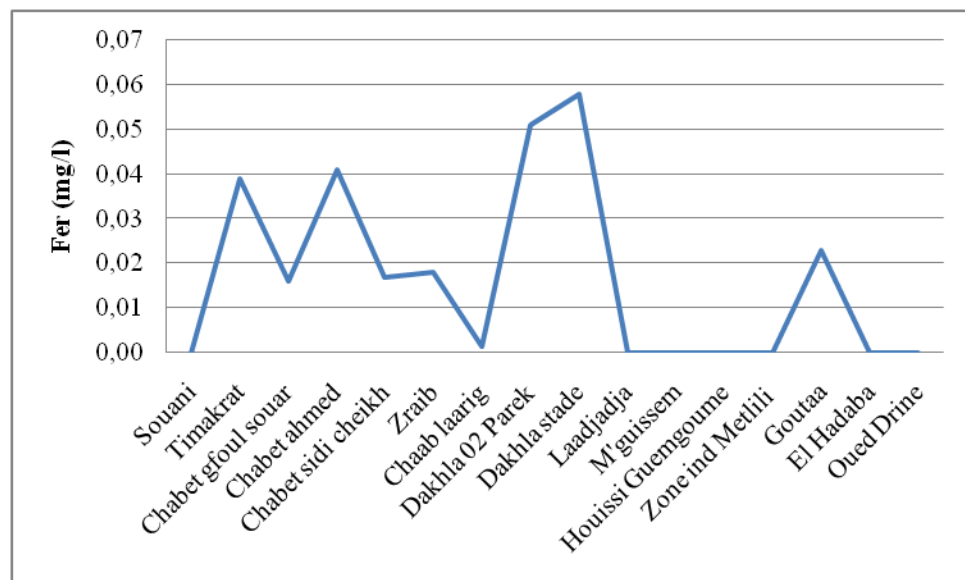


Figure 18: Variation de Fe²⁺ des eaux de la nappe CI de Metlili

I. Chlorure (Cl⁻)

Les concentrations de chlorure des eaux analysées variées entre 156 à 418.35mg/l, la maximale valeur été enregistrée dans les eaux de forage M'guissem par cotre la minimale été enregistrée dans le fora ge de Chaab Laarige.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés. Mais dans certaines régions, la traversée de marnes salifères peut conduire à des teneurs.

Les teneurs en chlorures des eaux naturelles sont susceptibles de subir des variations provoquées : dans les zones arides par un lessivage superficiel en cas de fortes pluies ; dans les zones urbaines et industrielles par des pollutions liées à des eaux usées. Le salage des aliments constitue la principale source d'apport des chlorures chez l'homme. L'OMS recommande pour la teneur en chlorures dans l'eau destinée à la consommation humaine une valeur guide de 250 mg/L pour des considérations gustatives et des risques de corrosion. (Rodier. et al. 2009).

Les chlorures provenant essentiellement de la dissolution des sels naturels provoqués par lessivage des formations salifères, ainsi que l'évaporation intense, dans des régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol. La présence des chlorures dans les eaux souterraines peut avoir une origine essentiellement agricole (engrais, pesticides etc.), industrielle et urbaine (eaux usées) (Achour et al. 2001).

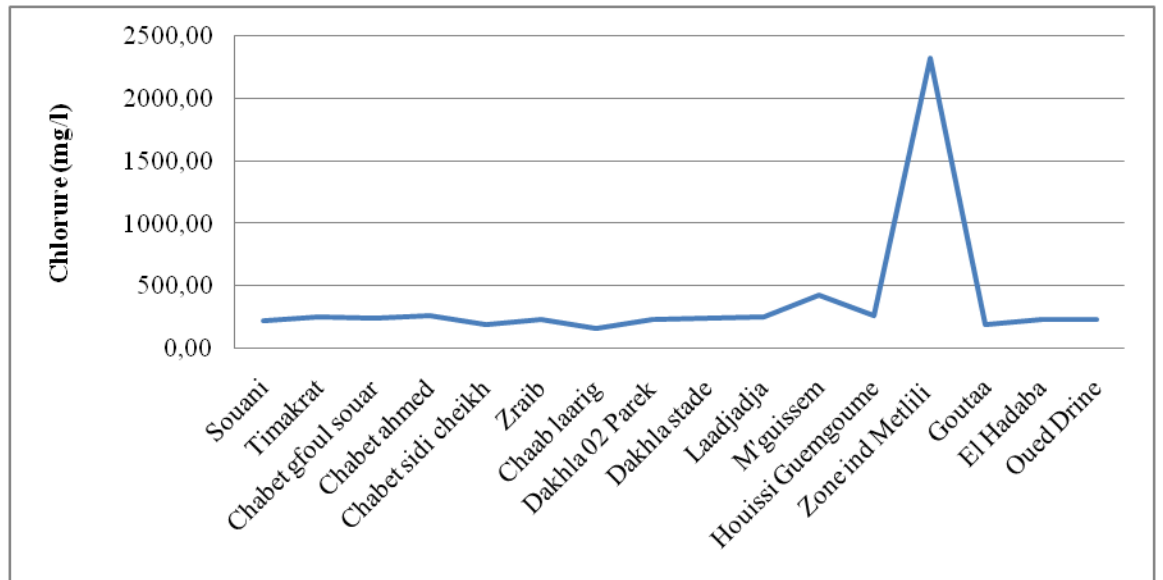


Figure 19: Variation de Cl⁻ des eaux de la nappe CI de Metlili

J. Nitrite (N-NO₂⁻)

D'après la figure 20 les concentrations de NO₂⁻ variées entre 0.00002 et 0.004 mg/l ces valeurs sont similaires avec celle trouvée dans l'étude de la qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued M'Zab (Ben Abderrahmen. 2022).

Comme nous notons que la présence de nitrite dans l'eau est en faible teneur, car il ne représente qu'un stade intermédiaire entre l'ammoniaque et les nitrates dans le cycle de l'azote et sont facilement oxydées en nitrites (Djaani. 2021), ces concentrations dépendent à la norme algérienne des eaux potables (NO₂⁻ < 1 mg/l).

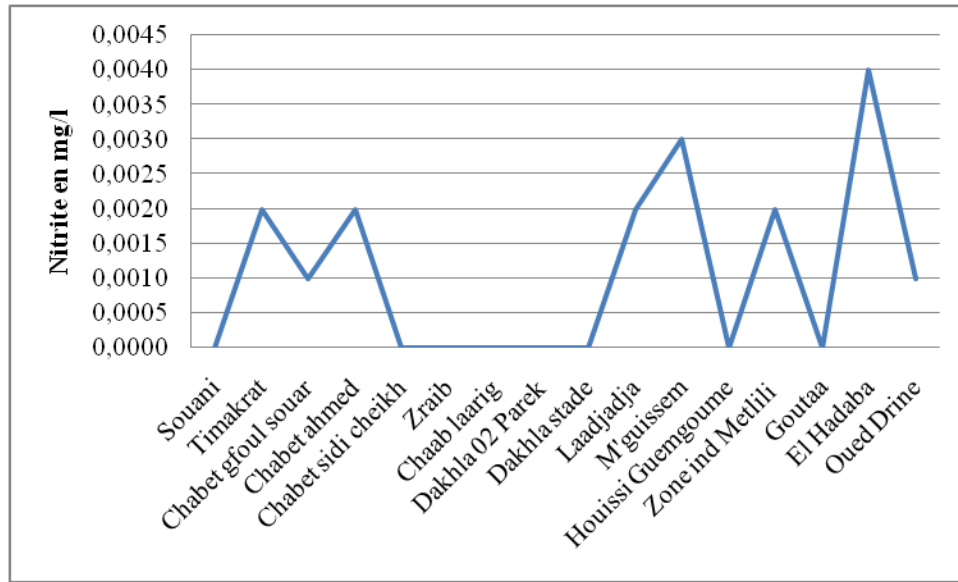
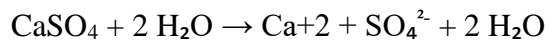


Figure 20 : Variation de NO_2^- des eaux de la nappe CI de Metlili

K. Les sulfates (SO_4^{2-})

La présence des sulfates dans les eaux souterraines peut être d'origine naturelle ou anthropique. Sur l'ensemble des puits analysés (figure 21), les concentrations du sulfate atteignent un maximum de 621 mg/l qui est localisé au niveau de forage Zone ind Metlili et un minimum de 355 mg/l qui est situé au niveau de forage Dakhla 02 Parek. La plus part des valeurs enregistrées dépassent la norme Algérienne (400 mg/L).

La présence des sulfates dans les eaux souterraines proviennent essentiellement de la dissolution des formations gypseuses selon la relation suivante :



Ou de lessivage des terrains contenant les pyrites ; dont les sulfures entraînés s'oxydent en sulfate à l'air. Teneurs en sulfates des eaux naturelles sont variables, de 5 à 200 mg/l (Barkat, 2016).

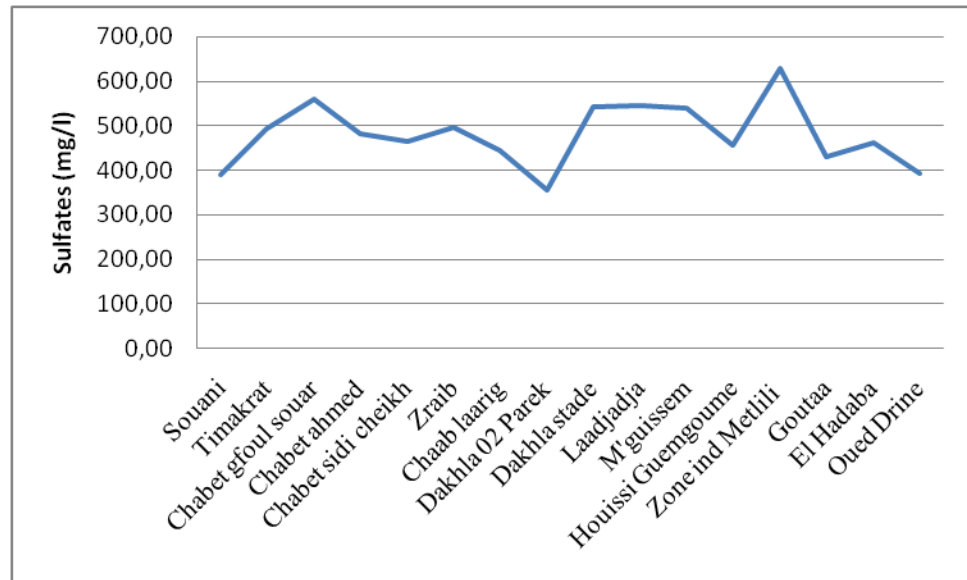


Figure 21: Variation de SO_4^{2-} des eaux de la nappe CI de Metlili

3.2.EVALUATION DES FACIES CHIMIQUES DES EAUX

Afin de comprendre les faciès et le comportement chimique des eaux des forages étudiés, plusieurs projections ont été réalisées. Ces projections ont été faites à l'aide de logiciel DIAGRAMME (Smiler.2004). Dans cette optique, les analyses ont été projetées sur des diagrammes de STABLER (Fig 22). Ce dernier décrit en fonction des pourcentages la part que constitue chaque élément dans l'eau.

Les cations les plus abondants dans les eaux souterraines sont le sodium (Na^+), le calcium (Ca^{2+}) et le magnésium (Mg^{2+}). Leurs teneurs oscillent entre 118 et 221 mg/l pour le Na^+ , et de 92 à 179 mg/l pour le Ca^{2+} , et entre 39 et 99 mg/l pour le magnésium. Viendront ensuite le potassium (K^+) avec des concentrations plutôt faibles, entre 6.8 et 11 mg/l.

On peut classer par ordre d'abondance croissante, les cations comme suit : potassium < magnésium < calcium < sodium pour presque la totalité des eaux.

D'autre part, les anions les plus abondants dans les eaux de la zone d'étude sont les sulfates suivis par les chlorures (dans presque toutes les eaux). Les concentrations varient entre 155 et 419 mg/l pour les chlorures et entre 355 et 418 mg/l pour les sulfates (SO₄²⁻).

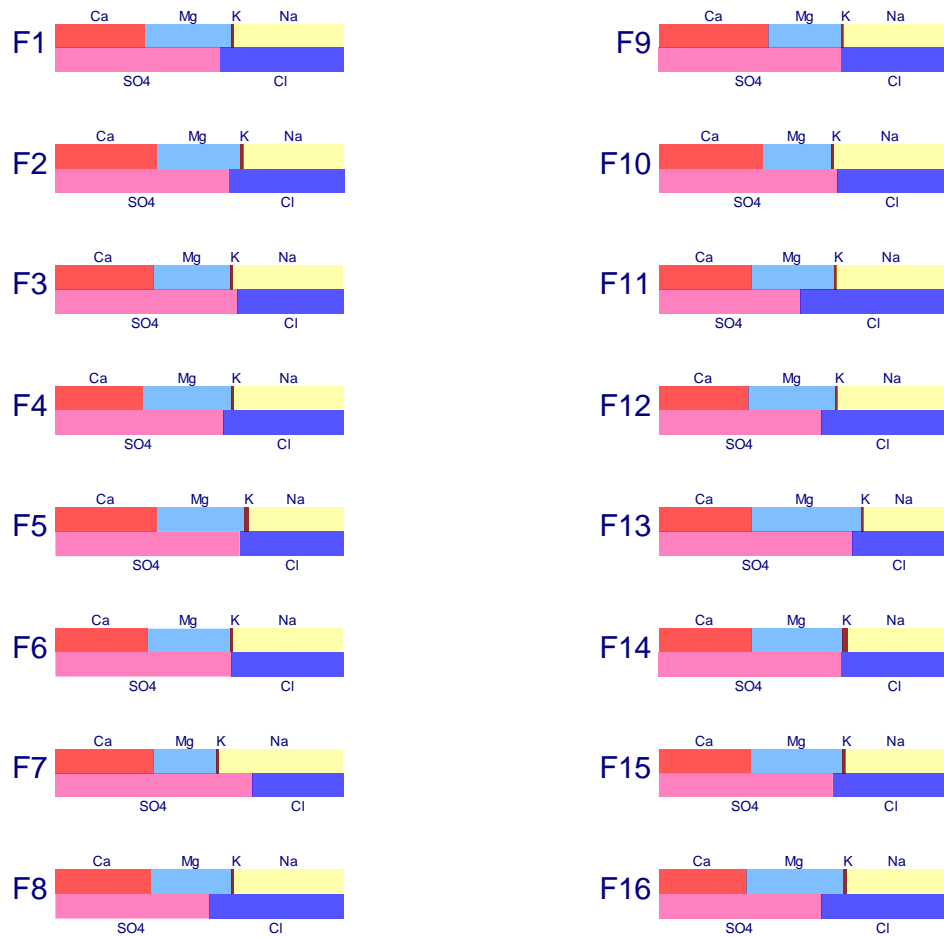


Figure 22. Projection des résultats des analyses des eaux des forages de la zone de Metlili sur le diagramme de STABLER.

3.3. EVALUATION DES BESOINS EN EAUX

L'étude des besoins en eaux de l'agglomération de Metlili est pour savoir dans quelle mesure les besoins en eau de la population sont satisfaits, alors d'après notre calcul qui été résumé dans le tableau 02 et d'après les informations motionnées dans le tableau, on peut dire que la somme des débits d'exploitation actuelle sont suffisants pour répondre aux besoins de la

population en eau potable avec la nécessité de traiter certaines eaux de puits selon les normes de potabilité

Tableau 02: les besoin en eau de la région de Metlili pour l'année 2023

Pop ₍₂₀₂₁₎	T	P _f (m ³ /j)	Dot (l/hab/j)	Q _{moyj} (m ³ /j)	Q _{ep} (m ³ /j)	Q _t (m ³ /j)	K _p	Q _p (m ³ /j)
62077	2.5%	65219.648	150	9311.55	1862.31	11173.86	2.5	2793.65

Tableau 03: Débit d'exploitation des forges de la zone de Metlili

Non du Forage	Débit exploitation (m ³ /j)	Non du Forage	Débit exploitation (m ³ /j)
DAKHLA 02 Parek	1584	ZRAIB	1584
DAKHLA stade	1440	GOUTAA	1944
SOUANI	1584	HADIKA	792
TIMAKRAT	1584	MOUDJAHIDINNE	612
LAADJADJA	1152	CHOUIKHAT	1166,4
M'GUISSEM	720	RCIOUIAT HACHANA	2160
GAMGOUMA (poste)	2016	EL HADABA	950,4
CHABET GFOUL SOUAR	1224	CHAAB LAARIG	950,4
HOUISSI GUEMGOUMA	1584	OUED DRINE	504
ZONE IND METLILI	1224	MERIGEN	1584
CHAIBET AHMED	1584	CHAIBET SIDI CHEIKH	1368
∑ Débit exploitation (m ³ /j)			29311,2

CONCLUSION GÉNÉRALE

La région de Metlili, située au sud du chef-lieu de Ghardaïa, à une distance de 45 km, s'étend sur une superficie de 7300 km². Du point de vue géomorphologique, elle se compose de quatre parties distinctes : les oueds, la hamada, la Chebka et l'Arges.

L'agriculture oasisienne est la principale activité dans la vallée, avec trois modes de culture prédominants : la culture des palmeraies, la culture des arbres fruitiers et la culture maraîchère et fourragère.

La région d'étude présente un climat typiquement saharien aride, caractérisé par de faibles et irrégulières précipitations ainsi que des températures très élevées. Le bilan hydrique de la zone d'étude est déficitaire en raison de la faible pluviométrie et d'une évapotranspiration élevée. La réserve facilement utilisable est nulle tout au long de l'année et la recharge par les précipitations est négligeable.

Sur le plan géologique, la zone d'étude est caractérisée par la succession de quatre formations géologiques : l'Albien, le Cénomanién, le Touranién et le Quaternaire. Ces formations revêtent une grande importance d'un point de vue hydrogéologique, car elles abritent deux aquifères majeurs : l'aquifère superficiel (présent dans les formations alluvionnaires du Quaternaire et les carbonates du Turonién) et l'aquifère du Continental Intercalaire (présent dans les sables de l'Albien).

La région est parcourue par un vaste réseau d'oueds, parmi lesquels les principaux sont l'Oued Sebseb, l'Oued Metlili, l'Oued N'sa, l'Oued Zegrir et l'Oued M'Zab. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab.

L'étude a été effectuée en premier lieu à fin de caractériser la qualité des eaux de 16 forages dans la zone de Metlili et un autre afin d'étudier la satisfaction des besoins de la population en eau potable.

L'analyse hydrochimique a montré l'existence un faciès chimique dans la plus part des eaux, ils sont caractérisés par une concentration très élevée de sulfate et de chlorure.

L'étude des besoins en eaux de l'agglomération de Metlili est pour savoir dans quelle mesure les besoins en eau de la population sont satisfaits, alors d'après notre calcul et les informations obtenues par la direction de

Conclusion générale

l'hydraulique de wilaya de Ghardaïa sur le débit d'exploitation des forages du puits, on peut dire que la somme des débits d'exploitation actuelle sont suffisants pour répondre aux besoins de la population en eau potable avec la nécessité de traiter certaines eaux de puits selon les normes de potabilité.

RÉFÉRENCE

- **Abdelbaki C. et F.Boukli H.2007** : Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen, Revue des Energies Renouvelables, 10, 257- 263.
- **Achour. 2014** : Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride cas de la vall e du m'Za (Gharda a – Algérie). Mémoire magister. P 126.
- **Achour.2001** : Incidence des procédés de chloration, de floculation et d'adsorption sur l'évolution de composés organiques et minéraux des eaux naturelles, Thèse de Doctorat d'Etaten Sciences Hydrauliques, Université de Tizi-Ouzou, 231p.
- **Achour.2010**: note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du ci ; anrh ; Ghardaïa, Algérie ; 14p.
- **ANRH. 2016** : Agence nationale des ressources hydrauliques, Inventaire des points d'eaux de la willaya de Ghardaïa ,Algérie.
- **APC.2021** : Assemblée pulaire communale de Metlili chaambas wilaya de Ghardaya.
- **Barkat.2016** : Suivi de la qualité physico-chimique des eaux du Barrage Béni Haroun. Mémoire. Magister : Département. Biologie. Univsité. Constantine ,15 _16p.
- **Baziz .2008** : Étude sur la qualité de l4equ potable et risque potentiels sur la santé cas dela ville de Batna. Mémoire magister. Université colonel ELHADJ LAKHDAR BATNA.154P.
- **Bedouh Yazid** : Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa », Thèse doctorat, specialite biologie, option toxicologie, unersité de BADJI Mokhtar – Annaba, 2014.
- **Bedouh.2014** : Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium cepa », Thèse doctorat, specialite biologie, option toxicologie, unersité de BADJI Mokhtar – Annaba, 2014.
- **Beniston2009** : Changements climatiques et impact, Lausanne : presses universitaires
- **Bensseddik.2018**: Étude hydrogéologique de la région de Metlili (Ghardaïa). Mémoire master. P51.
- **Berne F.Cordonier J.1991** : Traitement des eaux ; école national supérieure du pétrole et des moteurs, éditions TECHNIP paris, 306p.

- **Birech . Messaoudi . 2006** : La contamination des eaux par les métaux cas de chott ainbaida de la région d'Ouargla, mémoire d'ingénieur, université de Ouargla).
- **Bohy.2003** : Caractérisation de sources de pollution composées d'un mélange de solvants chlorés en aquifère alluvial, Expérimentations en laboratoire et sur site contrôlé associées à la simulation numérique. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- **Bouafia.2015** : Hydrodynamique souterraine et transfert des réservoirs profonds (couplage architecture stratigraphique vulnérabilité et risque de pollution) dans la région de Khenchela. Mémoire de magister. Université badji mokhtar-annaba. 133p.
- **Brémaud , Claisse , Leulier , Thibault , Ulrich** : Alimentation, santé, qualité de l'environnement et du cadre de vie en milieu rural. Educagri éditions. ISBN : 978-2-84444-475-2.2006. 232p
- **Burdon .1977**: Flow of fossil groundwater. Q.J.eng.geol.vol.10.97-124,11.
- **Chaouki ,Zeddouri, Laaouar** : Etude de la pollution chimique des eaux souterraine (cas des eaux non potables) de la région d'Ouargla, sud-est Algérien. International journal of environment and water. Volume 2, Numéro 5. 2013.
- **Claude V.Gibert B.1962** : Les techniques de culture en multicellules, ouvrage préparé en collaboration avec le Cégep régional Lanaudière à Joliette, Canada.
- **Collectif La Nutrition. 200** :Le fer dans l'eau du robinet ; Journalistes scientifiques et diététiciennes Publié le 13/03/2
- **D.P.A.T.2008** : Rapport Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Ghardaïa, Algérie.
- **Degrémont** : Mémento technique de l'eau. Le tome 1, 2. Degré mont Suez .2005.
- **Djaani.2021** : Réutilisation des eaux usées traitées par lagunage naturel comme ressources alternatives à l'irrigation , cas STEP d'El-Atteuf. Application de traitement des eaux usées par un adsorbant à base d'argile.
- **Food and Agriculture Organisation (FAO).1990** : Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation, Roma, Italie.
- **Food and Agriculture Organisation (FAO).2003** : L'irrigation avec les eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. Bureau Régional pour le proche orient et l'Afrique du Nord. Le Caire Egypte; 2003. p. 6- 9-73.

- **Funasa.2013** : Manuel pratique d'analyse de l'eau/National Health Foundation – 4. ed. – Brasilia, FUNASA, 2013.150 p.
- **Gaagai** : Etude de l'évolution de la qualité des eaux du barrage de Babar (Sud-Est Algérien) et l'impact de la rupture de la digue sur l'environnement. Université Mostefa Ben boulaïd –Batna 2.Thèse doctorat. 2017.
- **Gaagai.2009** :Étude hydrologique et hydrochimique du bassin versant du barrage de Babar surOued El Arab région est de l'Algérie, mémoire de magistère. Université de Batna 117p.
- **Guerazi S .Achour S.2005** : Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration, Larhyss Journal, 4,119-127.
- **Hassan**: Water Quality Parameters.Water Quality-Science, Assessments andPolicy, Ed. Kevin Summers, IntechOpen. 2019.
- **Jora.2011** : Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars
- **Kaid Rassou.2009** : Etude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Semlalia - Marrakech.
- **Le Pinpuc .Liénard . Bonnard . Lafont .Cazin . Ph. Hubert .Bray .2002**) :Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques ; Cemagref éditions.71p.
- **Lkebir Noura .2013** : Comportement hydrochimique, qualité des eaux et cartographie de quelques minéralisations au voisinage de la mine de Hajjar (Plaine du Haouz, Maroc).Mémoire master. Spécialité : eau et environnement. Université Cadi Ayyad. Maroc
- **Makhloufi et al.2011** : Etude de la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau potable dans la ville de Bchar el Oued Algérie. 1er séminaire international sur la ressource en eau au Sahara : évaluation, économie et protection. Ouargla,Algérie. p 356.
- **Margat, Saad.1982**:L'utilisation des ressources en eau souterraines non renouvelables pour le développement4 conférence internationale sur la planification et la gestion des eaux , Marseille.
- **Margat,Saad.1984**: Les nappes souterraines profondes des mines d'eau sous les déserts, Unesco ;Nature et ressources vol. xx, n°2,avril-juin.

- **Margat.1990:** les gisements d'eau souterraine. La recherche n°221.Mai,1990.
- **Matthess :** Effects of man's activities on groundwater quality / Les effets des activités de l'homme sur la qualité des eaux souterraines. Hydrological Sciences Bulletin .1976.
- **Moumouni Moussa djermakoye Hamsatou :** Les eaux résidaires des tanneries et de teintureries : caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines, thèse doctorat en Pharmacie, Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-stomatologie, Université de Bamako,2005
- **Nehme Nada :** Evaluation de la qualité de l'eau du bassin inférieur de la rivière du Litani, Liban : approche environnementale. Thèse doctorat. Université de Lorraine. 2014.
- **O.N.M.2022:** bulletins de météorologie, Station Ghardaïa.
- **O.M.S. 2004 :** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol. 1. Directives. Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, 110 p.
- **O.S.S.2003:"**Système aquifère du Sahara septentrional - gestion commune d'un bassin transfrontière".
- **Pdau. 2014 :** Rapport Plan directeur d'Amenagement Urbain – APC de Ghardaïa.
- **Pendoue :** Polarité du champ magnétique terrestre et inversion de la polarité du champ magnétique terrestre la reconstruction de la croix et les deux modes de communication. Ed.Lulu.com.2019.
- **Quevauviller :** Protection des eaux souterraines - législation européenne et avancées scientifiques. Lavoisier. 2010
- **Raham Farah Zakia et Kouloughli Rihab :**Evaluation de la qualité des eaux souterraines d'Ouled Rahmoun, mémoire mater, université des Frères Mentouri Constantine Lefèvre T. La répartition de l'eau sur la Terre. Planète viable, 2013
- **Raymond. 2007 :** Traitement des eaux ; deuxième édition revue et enrichie,Canada;305p.
- **Rodier J.Legub B.Merlet N. Brunet R.2009 :** Analyse de l'eau. Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Dunod, 9ème éd.
- **Rondeau. 2005:**La qualité de l'eau du secteur fluvial-la contamination par les toxiques 2ème édition. Environnement canada-région du Québec et ministère du développement

durable, de l'environnement et des parcs du Québec., 2000. Fiche d'information de la collection, saint laurent, ISBN 0-662-88163-X, En4-20/2002F,6p.

- **Sari.2014** : Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique del'eau de la source « Attar » (Tlemcen), Mémoire de Master, en Sciences des aliments.Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie.92p
- **Tamrabet.2011** : Contribution a l'étude de la valorisation des eaux usées en maraichage, Thèsdoctora , en hydraulique, Université de Batna; 147P
- **Unesco. 1972** : « Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultatsdu projet », Paris. 100 p
- **Zobeidi .2017** : Épuration des eaux usées urbaines par lagunage aéré en zone aride – cas de la région d'El-oued. Paramètres influents et choix des conditions optimales, thèse doctorat, Spécialité : Génie de procédés, Université KASDI MERBAH-Ouargla.134p008.

ANNEXES

Tableau 04: Paramètre de qualité de l'eau de consommations humaine (Décret exécutif n° 13-53 du 9 mars 2014)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques	Aluminium	mg/l	0,2
	Ammonium	mg/l	0,5
	Baryum	mg/l	0,7
	Bore	mg/l	- Eaux conventionnelles : 1 - Eaux déssalées ou déminéralisées : 1,3
	Fluorures	mg/l	1,5
	Nitrates	mg/l	50
	Nitrites	mg/l	0,2
	Oxydabilité	mg/l O ₂	5
	Acrylamide	µg/l	0,5
	Antimoine	µg/l	20
	Argent	µg/l	100
	Arsenic	µg/l	10
	Cadmium	µg/l	3
	Chrome total	µg/l	50
	Cuivre	mg/l	2
	Cyanures	µg/l	70
	Mercure	µg/l	6
	Nickel	µg/l	70
	Plomb	µg/l	10
	Sélénium	µg/l	10
	Zinc	mg/l	5
	Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) totaux	µg/l	0,2
	Fluoranthène, benzo (3,4) fluoranthène, benzo (11,12) fluoranthène, benzo (3,4) pyrène, benzo (1,12) pérylène, indéno (1,2,3-cd) pyrène, benzo (3,4) pyrène	µg/l	0,01
	Benzène	µg/l	10
Toluène	µg/l	700	
Ethylbenzène	µg/l	300	

(Suite)

GROUPE DE PARAMETRES	PARAMETRES	UNITES	VALEURS LIMITES
Paramètres chimiques (suite)	Xylènes	µg/l	500
	Styrène	µg/l	100
	Agents de surface régissant au bleu de méthylène	mg/l	0,2
	Epychlorehydrine	µg/l	0,4
	Microcystine LR	µg/l	1
	Pesticides par substance individualisée		
	- Insecticides organochlorés persistants	µg/l	0,1
	- Insecticides organophosphorés et carbamates	µg/l	0,1
	- Herbicides	µg/l	0,1
	- Fongicides	µg/l	0,1
	- P.C.B	µg/l	0,1
	- P.C.T	µg/l	0,1
	- Aldrine	µg/l	0,03
	- Dieldrine	µg/l	0,03
	- Heptachlore	µg/l	0,03
	- Heptachlorépoxyde	µg/l	0,03
	Pesticides (Totaux)	µg/l	0,5
	Bromates	µg/l	10
	Chlorite	µg/l	0,07
	Radionucléides	Trihalométhanes par substance individualisée :	
-Chloroforme		µg/l	200
- Bromoforme		µg/l	100
- Dibromochlorométhane		µg/l	100
- Bromodichlorométhane		µg/l	60
Chlorure de vinyle		µg/l	0,3
1,2-Dichloroéthane		µg/l	30
1,2-Dichlorobenzène		µg/l	1000
1,4-Dichlorobenzène		µg/l	300
Trichloroéthylène		µg/l	20
Tetrachloroéthylène	µg/l	40	
paramètres microbiologiques	Particules alpha	Picocurie/L	15
	Particules bêta	Millirems/an	4
	Tritium	Bequerel/l	100
	Uranium	µg/l	30
	Dose totale indicative (DTI)	mSv/an	0,15
paramètres microbiologiques	Escherichia Coli	n/100ml	0
	Entérocoques	n/100ml	0
	Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores	n/20ml	0

Pourcentage des éléments chimique dans l'eau de la nappe albienne

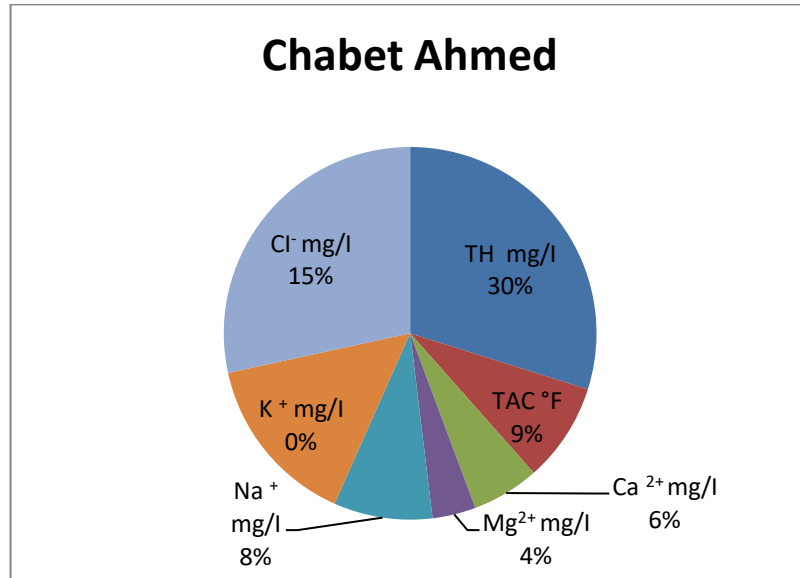


Figure 23 : pourcentage de forage Chabet Ahmed

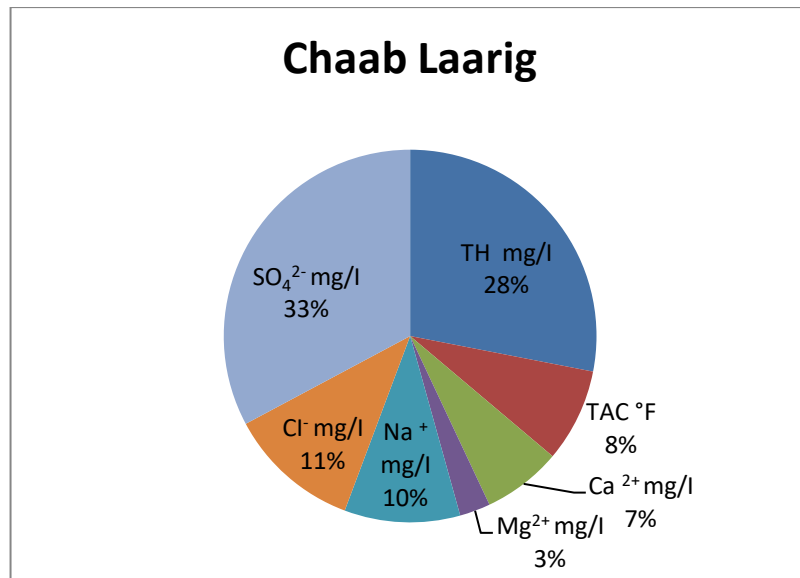


Figure 24 : pourcentage de forage Chabet Laarig

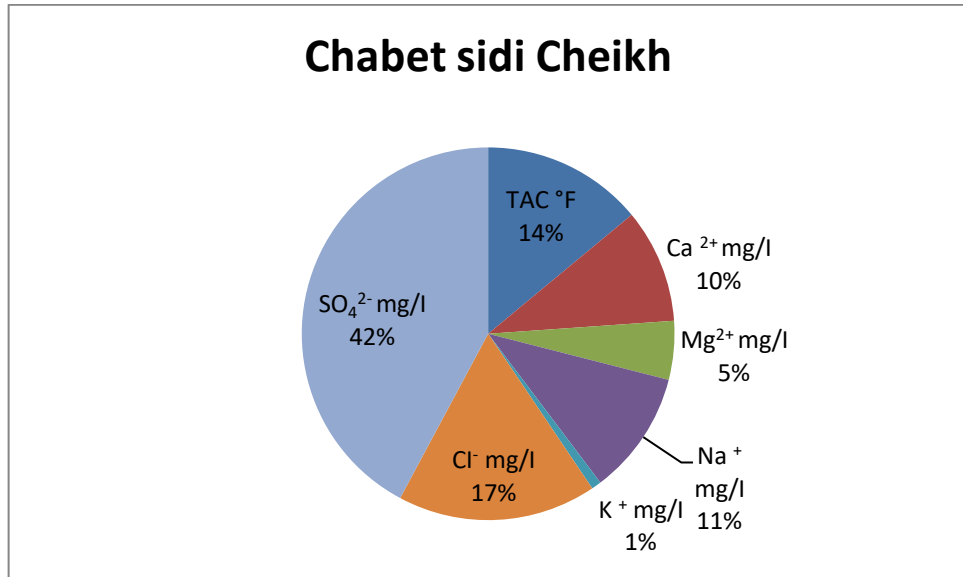


Figure 25 : pourcentage de forage Chabet sidi cheikh

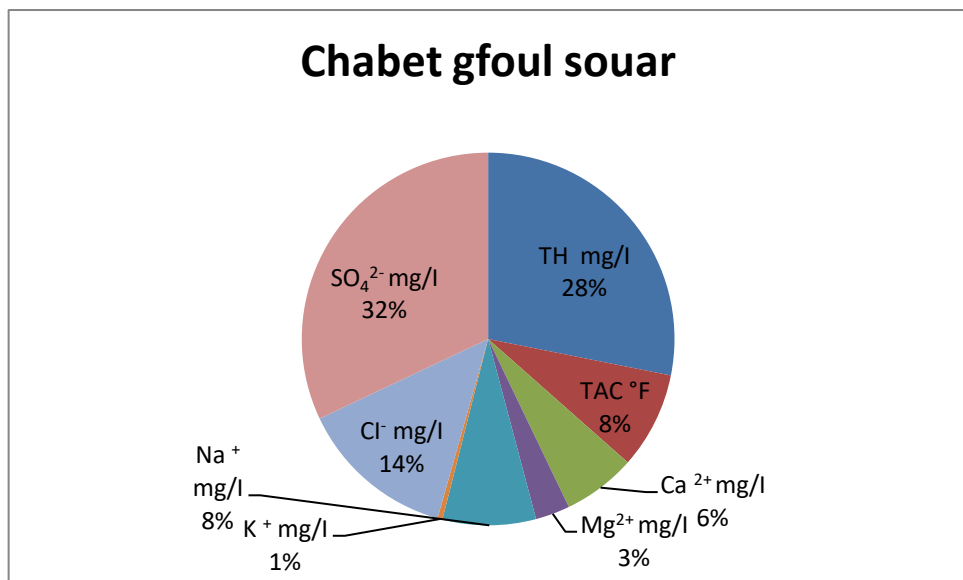


Figure 26 : pourcentage de forage Chabet gfoul souar

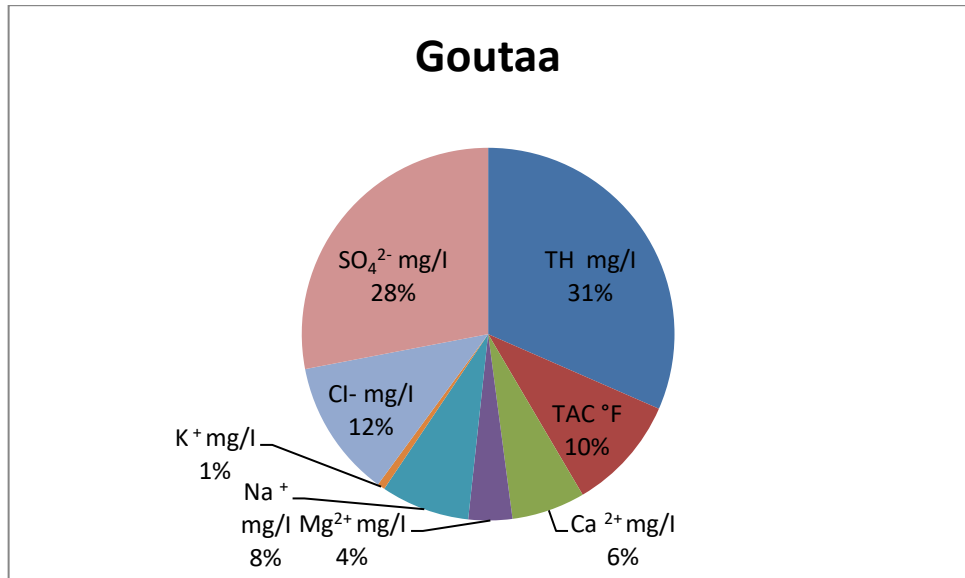


Figure 27 : pourcentage de forageGouta

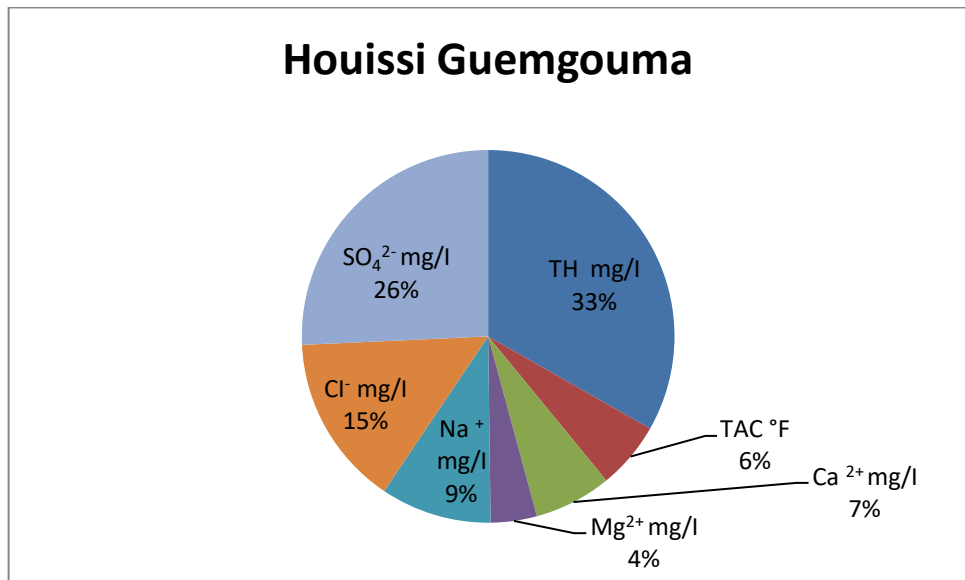


Figure 28: pourcentage de forageHouissi Guemgoume

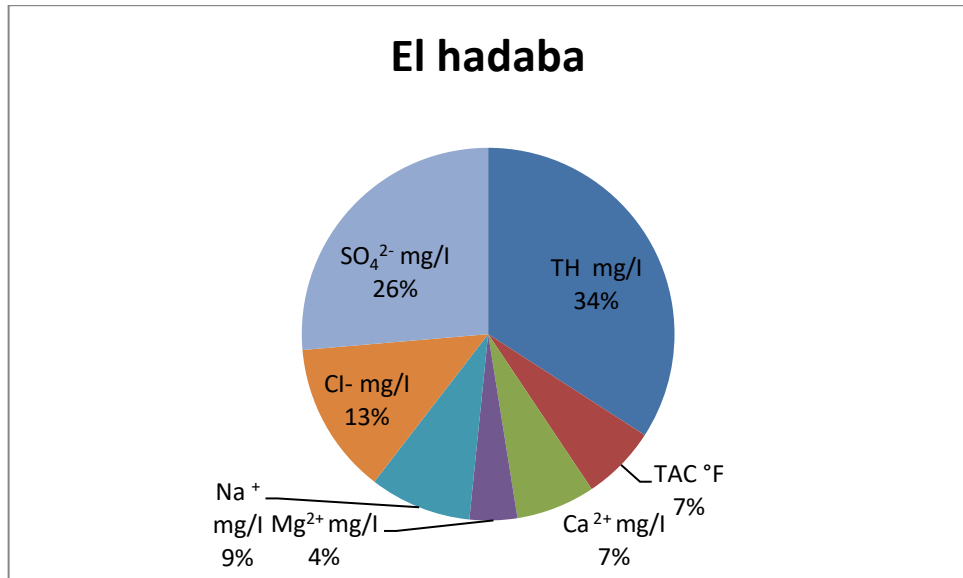


Figure 29 : pourcentage de forageEl Hadaba

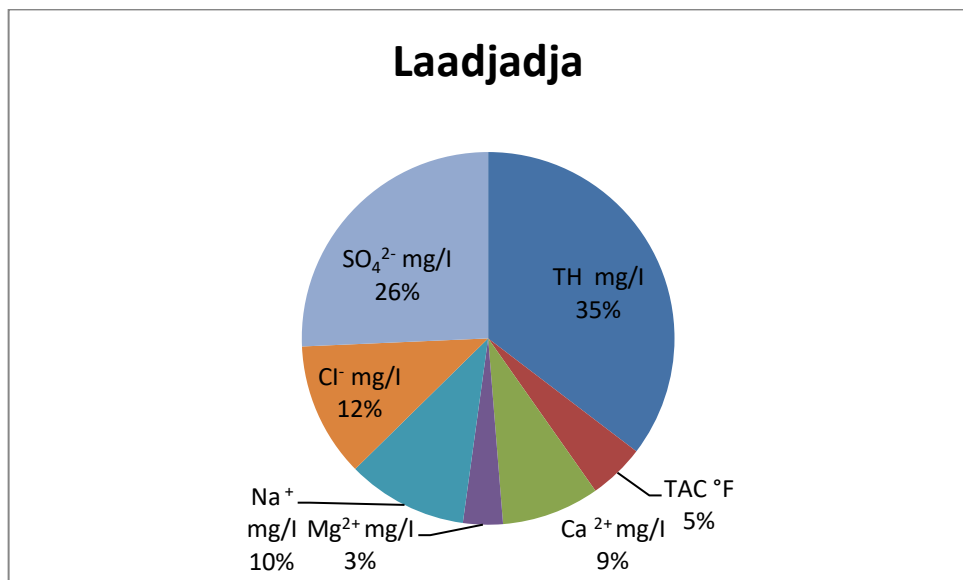


Figure 30: pourcentage de forageLaadjadja

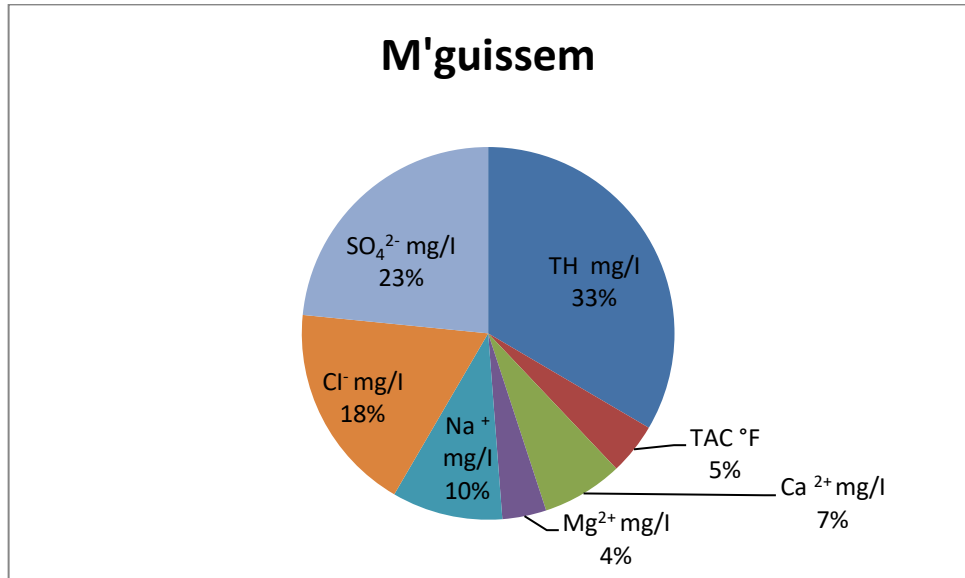


Figure 31 : pourcentage de forage M'guissem

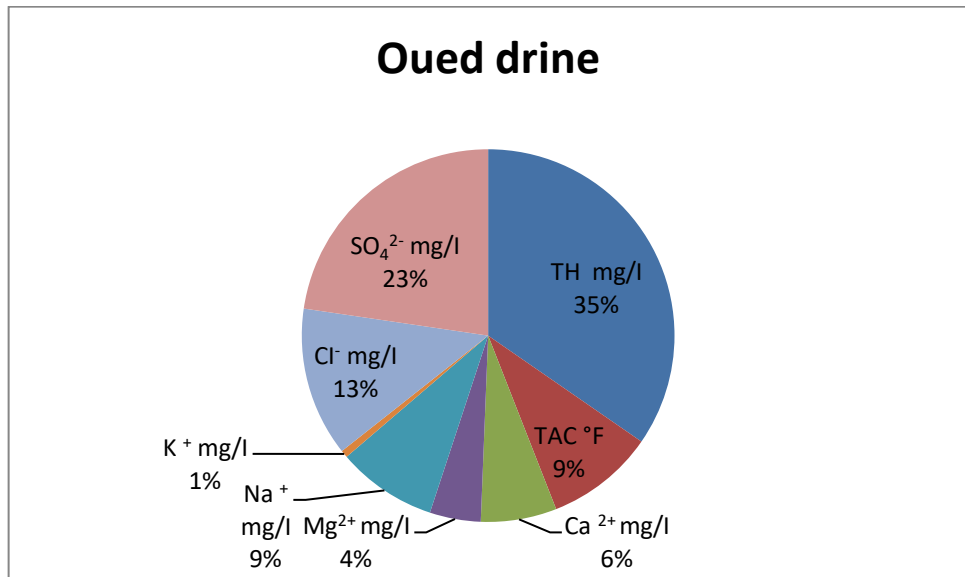


Figure 32 : pourcentage de forage Oued Drine

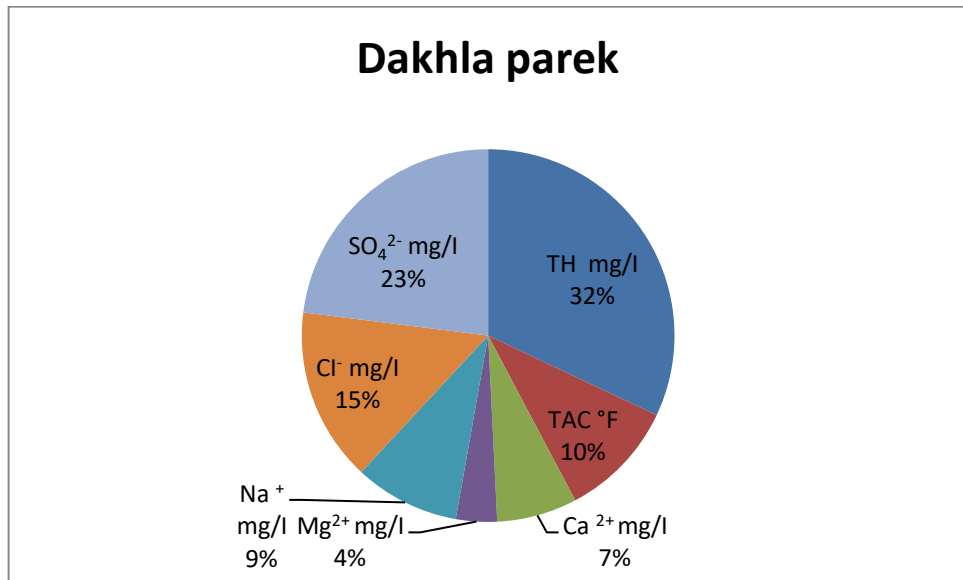


Figure 33 : pourcentage de forage Dakhla parek

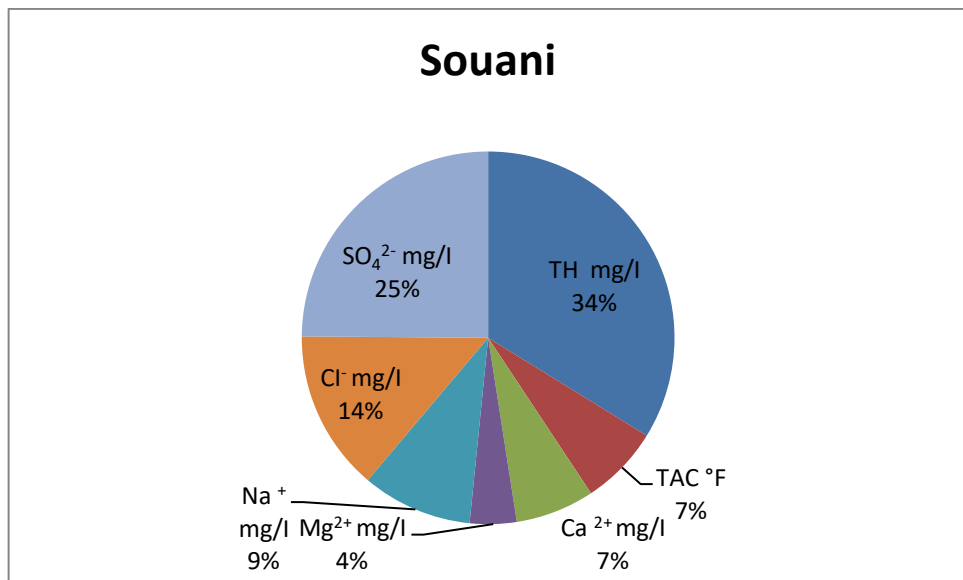


Figure 34 : pourcentage de forage Souani

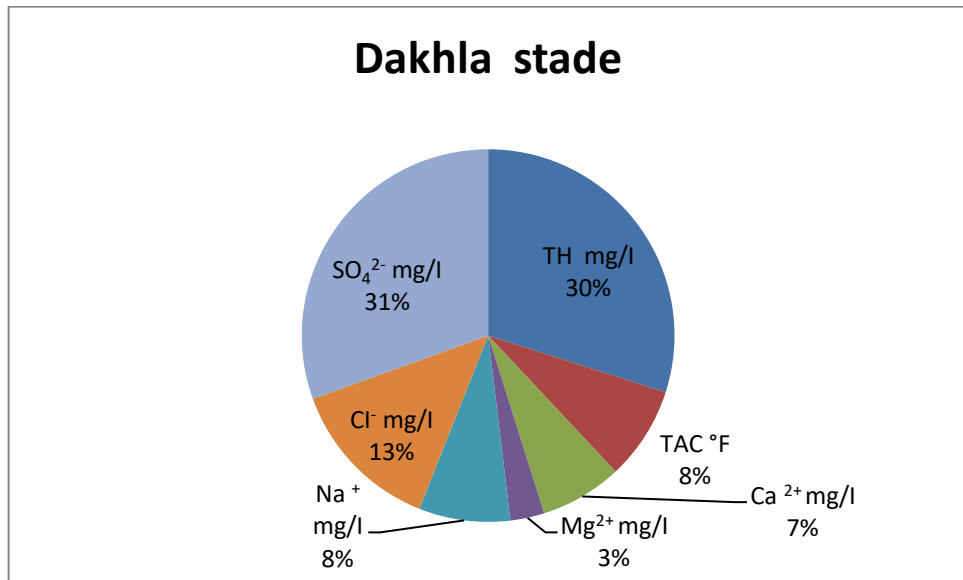


Figure 35 : pourcentage de forage Dakhla stade

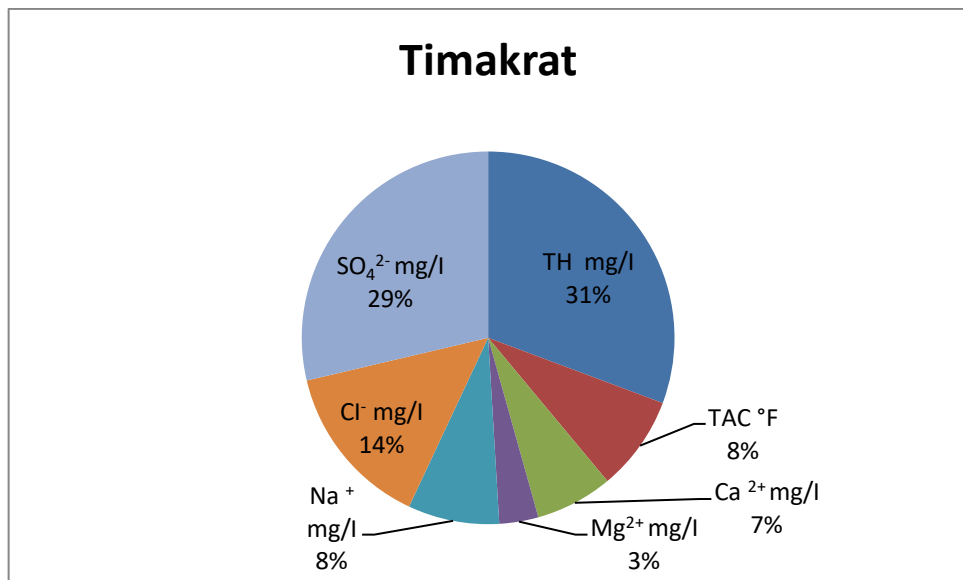


Figure 36: pourcentage de forage Timakrat

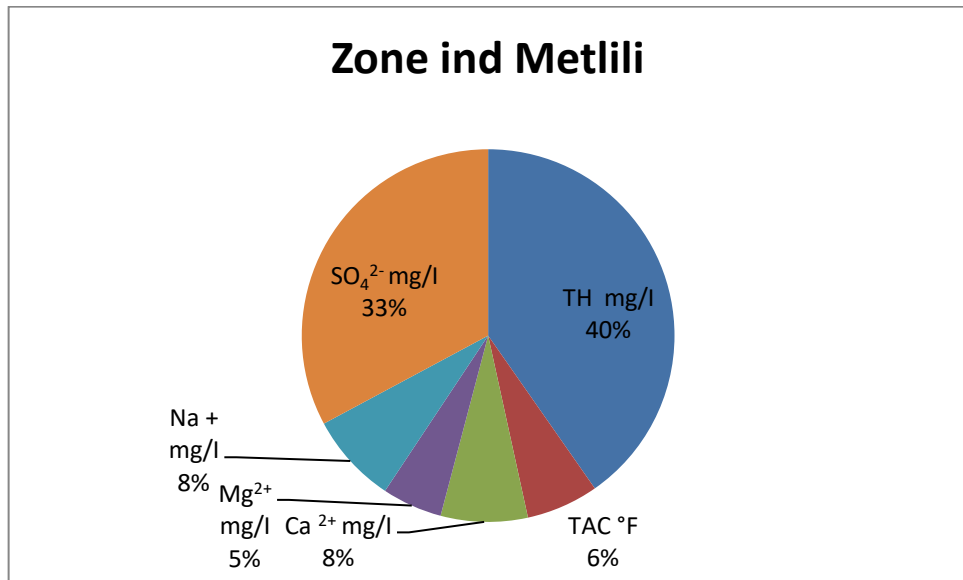


Figure 37: pourcentage de forage Zone ind Metlili

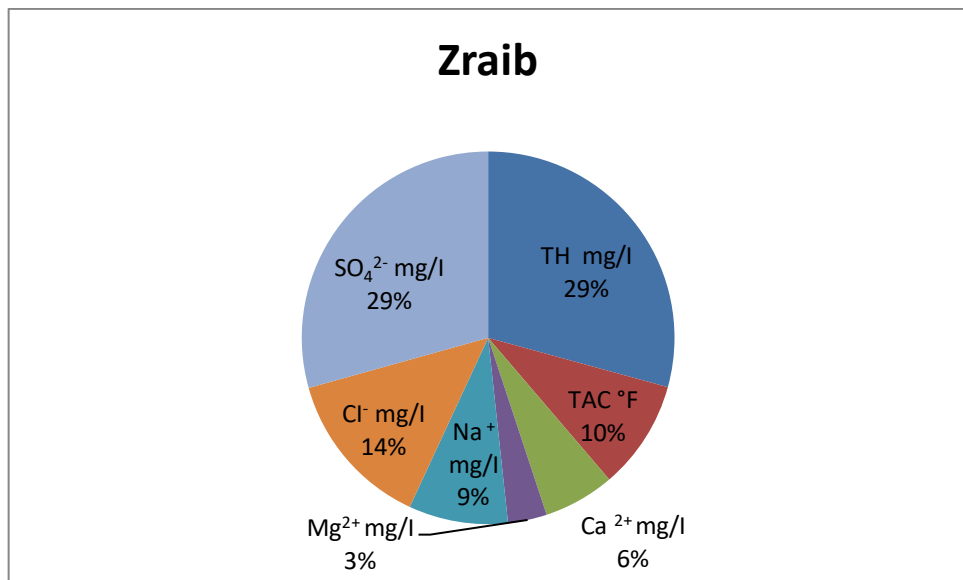


Figure 38: pourcentage de forage Zraib

Tableau 05 : Résultats des analyses des eaux des forages de la zone de Metlili.

N°	Nom	pH	TH mg/L	TAC °F	Ca ²⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	Fe ²⁺ mg/L	O ₂ mg/L
1	Souani	7.04	529.00	108.00	107.144	63.423	150	7.5	218.3904	389.4	0.00	0.00	8.21
2	Timakrat	6.99	528.00	142.00	115.43	58.32	136.36	6.875	246.75	493.4	0.002	0.039	-
3	Chabet Gfoul Souar	6.76	490.00	146.00	110.62	52.002	140.9	7.5	236.77	557.7	0.001	0.016	-
4	Chabet Ahmed	7.1	507.00	146.00	99.398	63.9009	145.45	6.875	253.84	482.3	0.002	0.041	-
5	Chabet Sidi Cheikh	6.78	503.00	154.00	109.017	56.133	118.18	9.375	190.02	464.4	0.00	0.017	-
6	Zraib	7.07	494.00	160.00	104.284	56.962	145.45	6.875	232.19	495.2	0.00	0.018	-
7	Chaab Laarig	7.29	381.00	110.00	92.985	36.207	136.36	7.5	155.99	445.5	0.00	0.0013	7.99
8	Dakhla 02 Parek	6.84	494.00	158.00	107.414	54.918	140.9	6.875	232.571	355	0.00	0.051	-
9	Dakhla stade	6.88	532.00	144.00	126.652	52.488	140.90	6.875	239.662	542.5	0.00	0.058	-
10	Laadjadja	7.14	748.00	103.00	179.5582	72.9	221.42	7.5	246.7528	543.4	0.002	0.00	8.07
11	M'guissem	7.28	770.00	103.00	161.9232	87.966	221.42	7.5	418.3454	539.1	0.003	0.00	8.15
12	Houissi Guemgouma	7.22	587.00	103.00	118.636	70.713	170.00	6.875	262.352	454.4	0.00	0.00	7.88
13	Zone Ind Metlili	7.18	771.00	120.00	144.288	99.873	150.00	11.00	223.571	628.1	0.002	0.00	7.05
14	Goutaa	6.81	484.00	153.00	97.795	58.32	118.18	10.00	182.937	429.5	0.00	0.023	-
15	El Hadaba	7.21	598.00	114.00	120.24	72.414	155.00	8.125	231.153	462.00	0.004	0.00	7.88
16	Oued Drine	7.23	599.00	163.00	113.827	76.545	150.00	11.00	224.062	392.3	0.001	0.00	7.09