



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

Université de Ghardaïa

N°
d'enregistrement

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Hydraulique

Spécialité: Hydraulique Urbaine

Thème

*Hydrochimie et l'impact des processus hydrogéochimiques sur
La qualité des eaux souterraines de la nappe Albienne en zone aride
(Région de Ghardaïa)*

Déposé le : 17/06/2021

Par

Ben Oudina Sarah & Fenniche Malika

Par le jury composé de :

BOUTELLI Mohamed Hicham	MCA	Univ Ghardaia	Evaluateur
AMIEUR Rekia	MCA	Univ Ghardaia	Evaluateur
BOUBELLI SALIM	MCB	Univ Ghardaia	Encadreur

Année universitaire : 2020/2021

Remerciement

*Au nom d'Allah le Clément et le Miséricordieux Je remercie
DIEU tout puissant, de m'avoir donné la santé, la volonté, la
patience et les moyens afin que je puisse accomplir ce modeste
travail :*

« Merci Dieu ».

*Je remercie Mr. Boubelli Salim qui a proposé et dirigé ce
travail et pour son encadrement efficace.*

*Et pour ses appréciations, ses remarques, ses directives et
conseils.*

Mes vifs remerciements vont à l'égard des personnels des

Agence Nationale des Ressource Hydrique (ANRH)

Laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE)

Office nationale de météorologie Ghardaïa (ONM)



Dédicace

J'ai le grand plaisir de dédier ce Modeste travail :

A mon très cher père, pour ses encouragements, son soutien

A ma très chère mère, qui me donne toujours l'espoir de vivre et qui n'a jamais cessé de prier pour moi

Surtout pour mon amour de vie mon fiancé

A ma chère tante Rabiha pour ses encouragements

A tous mes chers frères & ma sœur

A tous ma grande Famille particulièrement

À mon binôme Malika

À tous mes collègues de spécialité hydraulique urbaine

Sarah

A decorative border of pink flowers, likely sweet peas, with green leaves and thin stems, framing the text on the page.

Dédicace

Ce travail est dédié

A mes chers parents source inépuisable d'amour et

D'affection, aucune dédicace ne saurait exprimer ma

*Reconnaissance pour votre grande patience, vos sacrifices
et votre soutien*

À mon frère : Abd elkarime

À mes chères sœurs : Kenza ; Chaima ; Hadil

À toute ma famille FENNICHE et BENMESSAOUD

À tous mes amis et les proches sans exception

À mon binôme Sarah ;

À tous mes collègues de spécialité hydraulique urbaine ;

À tous ceux qui aiment Malika

À toutes ces personnes je dédie ce modeste ouvrage.

Malika

SOMMAIRE

Remerciements.....	
Dédicace.....	
SOMMAIRE	
Liste des tableaux.....	
Liste des Figures.....	
Liste des abréviations.....	
Résumé.....	
Introduction Générale	1
Chapitre I : SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE	
I. Inrtoduction.....	4
II. Présentation de la zone d'étude.....	4
II-1. Situation géographique.....	4
II-1-1 Position géographique.....	4
II-1-2. Limites géographiques.....	4
II-2. La géomorphologie.....	6
II-2.1. Falaise inférieure et son plateau.....	7
II-2.2. Falaise supérieure et son plateau.....	7
II-2.3. Fissuration et Karstification.....	8
II-3. Contexte socio-économique.....	9
II-4. Situation géologique.....	10
II-4.1. Description litho stratigraphique.....	10
II-4.1.1. Secondaire	10
II-4.1.2. Tertiaire	11
II-4.1.3. Quaternaire	11

III-Conclusion	13
----------------------	----

Chapitre II : Aperçus climatiques

I.Introduction	15
II.Présentation de la station météorologique	15
III.Analyse des paramètres climatiques	15
III-1. La température	15
III-2. Précipitation	17
III-3. Humidité	17
III-4. Le vent	18
III-5.Diagramme Ombrothermique de Gaussen $P=2T$	19
III-6. Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa	20
III-6.1. Notion du bilan d'eau	20
III-6.2. Étude de l'évapotranspiration	20
III-6.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR)	21
III-6.4. Formule de Turc	21
IV-Conclusion.....	23

Chapitre III :

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

I.Introduction.....	25
II.Logiciels utilisées	25
III.Facies chimique	27
III-1. Diagramme de piper	27
III-2. Diagramme de stableur	28
IV.Répartition et chimisme des eaux	29
IV-1. Répartition spatiale des températures	29

IV-2. Répartition spatiale du Potentiel d'hydrogène (pH)	31
III-3. Répartition spatiale de la conductivité électrique	32
III-4. Répartition spatiale de sodium (Na^{2+})	34
III-5. Répartition spatiale de potassium (K^+)	35
III-6. Répartition spatiale de magnésium (Mg^{2+})	36
III-7. Répartition spatiale de Calcium (Ca^{2+})	38
III-8. Répartition spatiale des chlorures	39
III-9. Répartition spatiale des sulfures (SO_4^-)	40
III-10. Répartition spatiale des bicarbonates (HCO_3^-)	41
III-11. Répartition spatiale des Nitrates (NO_3^-)	42
III-12. Répartition spatiale d'ammonium (NH_4^+)	43
I. Qualité des eaux	44
IV-1. Norme Algérienne de potabilité des eaux	44
IV-2. Paramètres physiques	45
IV-3. Les cations	46
IV-4. Les anions	47
IV-5. Nutriments	48
II. Indice de saturation	48
V-1. Les carbonates	49
V-2. Les sulfates	50
V-3. Les chlorures	51
V-4. Les Gaz dissous	52
III. Diagramme de concentration	52
VI-1. Diagramme de concentration des éléments majeurs	53
VI-2. Diagramme de concentration d'éléments nutritifs	54

IV.Conclusion	55
Conclusion général.....	58
Reference bibliographique.....	60

Liste des tableaux :

Tableau N°1 : Caractéristique Géographique de Station de Climatologique de la région de Ghardaïa (2010-2020)	15
Tableau N°2 : Températures (°C) moyennes mensuelles, des maximas et des minimas dans la région de Ghardaïa (2010-2020)	15
Tableau N°3 : Précipitation moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (2010-2020)	17
Tableau N°4 : Humidité moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	18
Tableau N°5 : La vitesse moyenne mensuelle des vents de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	18
Tableau N°6 : Données de diagramme ombrothermique de Gaussen de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	19
Tableau N°7 : Bilan hydrique de la région de Ghardaïa (2010-2020)	22
Tableau N°8 : Norme algérienne de potabilité de l'eau dans la région de Ghardaïa (2010-2020).....	44

Liste des figures :

Figure I.1 : Carte de situation de ville Ghardaïa.....	6
Figure I.2 : carte géomorphologique de la région de Ghardaïa.	9
Figure I.3: Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (ANRH, 2010), modifiée.....	12
Figure II.1 : Variation des Températures mensuelles de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	16
Figure II.2 : Variation des Précipitations moyenne mensuelles de région de Ghardaïa (2010 2020).....	17
Figure II.3 : Variation d’Humidité moyenne mensuelles de région de Ghardaïa (2010-2020).....	18
Figure II.4 : Variation des vitesses moyennes mensuelles des vents de région de Ghardaïa (2010- 2020).....	19
Figure II.5 : Diagramme Ombrothermique $P = 2T$ de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	20
Figure II.6 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thorn CS.....	23
Figure III.1 : Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	28
Figure III.2 : Diagramme de Stableur pour les eaux souterraines de la région de Ghardaïa (2010- 2020).....	29
Figure III.3 : Répartition spatiale des températures de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	30
Figure III.4 : Répartition spatiale du pH de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	31

Figure III.5 : Répartition spatiale de la conductivité électrique de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	33
Figure III.6 : Répartition spatiale du sodium (Na^{+2}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	34
Figure III.7 : Répartition spatiale du Potassium (K^{+}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	35
Figure III.8 : Répartition spatiale du Magnésium (Mg^{+2}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	37
Figure III.9 : Répartition spatiale du Calcium (Ca^{+2}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	38
Figure III.10 : Répartition spatiale des chlorures (Cl^{-}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	39
Figure III.11 : Répartition spatiale des sulfures (SO_4^{-}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	40
Figure III.12 : Répartition spatiale des bicarbonates (HCO_3^{-}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	41
Figure III.13: Répartition spatiale des Nitrates (NO_3^{-}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	42
Figure III.14 : Répartition spatiale de l'ammonium (NH_4^{+}) de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	43
Figure III.15 : Qualité des eaux souterraine de Ghardaïa vis-à-vis les paramètres physiques de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	45
Figure III.16 : Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis les cations de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	46
Figure III.17 : Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis	

les anions de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	47
Figure III.18: Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis	
les nutriments de la région de Ghardaïa (2010-2020).....	48
Figure III.19 : indice de saturation des eaux souterraines des carbonates	
de la région Ghardaïa (2010-2020).....	49
Figure III.20 : indice de saturation des eaux souterraines des sulfates	
de la région Ghardaïa (2010-2020).....	50
Figure III.21 : indice de saturation des eaux souterraines des chlorures	
de la région Ghardaïa (2010-2020).....	51
Figure III.22 : indice de saturation des eaux souterraines des gaz dissous	
de la région Ghardaïa (2010-2020).....	52
Figure III.23 : Diagramme de concentration des éléments majeurs	
de la région Ghardaïa (2010-2020).....	54
Figure III.24 : Diagramme de concentration des éléments nutritifs	
de la région Ghardaïa (2010-2020).....	55

Liste des abréviations :

ADE : Algérienne Des Eaux.

CI : Continental Intercalaire.

Ca⁺² : Calcium.

Cl⁻ : chlorures.

DA : déficit agricole.

EPT : Eau peptone tamponnée.

ETR : Evapotranspiration Réelle.

ETP : Evapotranspiration potentielle.

HCO₃: bicarbonates.

K⁺ : Potassium.

Max : maximum.

Moy : moyen.

Mg⁺²: Magnésium.

Na⁺: Sodium.

NO₃: Nitrates.

NH₄⁺: Ammonium.

OMS : Organisation Mondiale de la Sante.

ONM : Office National de Météorologie.

PO₄: Phosphates.

RFU : Reserve facilement utilisable.

SO₄ : Sulfures.

Résumé :

Dans ce travail, nous sommes entrainés d'étudier la qualité des eaux et les caractéristiques hydrogéochimiques et l'impact des processus hydrogéochimiques sur la qualité physique (pour mesurer les éléments physiques tels que la température, la conductivité électrique, le pH) et chimique (pour trouver les concentrations) des eaux souterraines de la nappe Albienne de la ville de Ghardaïa.

La nappe albienne est utilisée comme ressource de secours ou de substitution des ouvrages alimentant les collectivités en eau potable. En effet, la nappe albienne captive est protégée contre la pollution.

Sept échantillons d'eau souterraine ont été prélevés et analysés pour le pH, la conductivité électrique, la température, bicarbonate, chlorure, sulfate, nitrate, Ammonium, calcium, magnésium, sodium, potassium.

L'examen de la variation de la composition chimique et hydrogéochimique des eaux souterraines indique des concentrations élevées en anions et cations à l'exception du potassium et même pour la conductivité électrique. L'évolution hydrogéochimique des eaux souterraines était principalement contrôlée par la dissolution / précipitation des minéraux carbonatés, sulfatés et chlorurés. La dissolution des minéraux peut expliquer les caractéristiques chimiques des eaux étudiées.

Les eaux de la région de Ghardaïa en mauvais état d'usage du point de vue physico-chimique, donc la compréhension des processus hydrogéochimiques renforce la protection et l'utilisation durable des ressources en eau souterraine de la région.

Mots clés : Ghardaïa, nappe albienne, hydrogéochimie, qualité physique, qualité chimique, impact, eaux souterraines.

Abstract:

In this work, we are trained to study water quality and hydrogeochemical characteristics and the impact of hydrogeochemical processes on the physico-chemical quality of groundwater in the Albian aquifer of the city of Ghardaïa.

The Albian aquifer is used as a relief or replacement resource for drinking water in communities. The captive Albian aquifer is protected from pollution.

Seven groundwater samples were collected and analyzed for pH, electrical conductivity, temperature, bicarbonate, chloride, sulphate, nitrate, ammonium, calcium, magnesium, sodium, potassium.

Examination of the variation in the chemical and hydrogeochemical composition of groundwater indicates high concentrations of anions and cations with the exception of potassium and even for electrical conductivity. The hydrogeochemical evolution of groundwater was mainly controlled by the dissolution/precipitation of carbonate, sulphate and chlorinated minerals. The dissolution of minerals may explain the chemical characteristics of the waters studied.

The waters of the Ghardaïa region are all degraded and are not safe from the physico-chemical point of view, so understanding the hydrogeochemical processes strengthen the protection and sustainable use of groundwater resources of the region.

Keywords: Ghardaïa, albian water table, hydro geochemistry, physico-chemical quality, impact, groundwater.

ملخص:

في هذا العمل، نحن بصدد دراسة نوعية المياه والخصائص الهيدروجيوكيميائية وتأثير العمليات الهيدروجيوكيميائية على النوعية الفيزيو- كيميائية للمياه الجوفية للجيب المائي الألبيني في مدينة غرداية.

الجيب المائي الألبيني يستخدم كمورد للإغاثة أو لتعويض منشآت التزود بالمياه الصالحة للشرب في التجمعات السكنية. في الواقع الجيب المائي الألبيني محمي من التلوث.

7 عينات للمياه الجوفية تم تجميعها وتحليلها منها: الأس الهيدروجيني ، والناقلية الكهربائية، ودرجة الحرارة ، والبكتريونات، والكلوريد ، والكبريتات ، والنترات ، والأمونيوم ، والكالسيوم ، والمغنيسيوم ، والصوديوم ، والبوتاسيوم.

فحص التغير في التركيبة الكيميائية والهيدروجيوكيميائية للمياه الجوفية يشير إلى وجود تركيزات عالية من الأيونات الموجبة و السالبة باستثناء البوتاسيوم ، بل وحتى بالنسبة للناقلية الكهربائية. التطور الهيدروجيوكيميائي للمياه الجوفية هو في الأساس يخضع للانحلال/الترسب للمعادن الكربونية والكبريتية والكلوريدات. انحلال المعادن يفسر الخصائص الكيميائية للمياه المدروسة.

مياه منطقة غرداية كلها متدهورة وليست آمنة من وجهة النظر الفيزيائية - الكيميائية، ومن ثم فإن فهم العمليات الهيدروجيوكيميائية يعزز حماية موارد المياه الجوفية في المنطقة واستخدامها المستدام.

الكلمات المفتاحية: غرداية ، الجيب المائي الألبيني ، الهيدروجيوكيمياء ، النوعية فيزيو- كيميائية ، التأثير ، المياه جوفية.



**INTRODUCTION
GÉNÉRALE**

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est définie le facteur principal au développement de la région saharienne. L'Algérie est contient la plus grande réserve d'eau dans le Nord d'Afrique, connue par le Continentale Intercalaire (Albien).

Ghardaïa est une ville ancienne agriculture très important dans le sud Algérien, l'utilisation d'eau est important soit pour l'habitation soit pour l'agriculture, leur emplacement dans un oued favorise une richesse en eaux Albien qui aide la population de vivre sans problème pendant toutes les saisons.

La qualité des eaux est contrôlée par la société algérienne des eaux qui contrôle et assure les besoins en eaux dans la région.

L'objectif de notre travail est l'étude hydro chimique et l'impact des processus hydrogéochimiques sur la qualité des eaux souterraines de la nappe albienne en zone aride (la région de Ghardaïa)

Cette étude s'articule autour de 3 chapitres qui sont :

* **Premier chapitre** : Situation géographique et aperçu géologique (présentation de la zone d'étude, contexte hydro-climatologique et contexte géologique).

* **Deuxième chapitre** : aperçu climatique

* **Troisième chapitre** : Etude hydro chimique et géochimique.

Problématique :

Une teneur trop élevée d'un ou plusieurs composants chimiques dans les eaux souterraines cause des désagréments au consommateur (saveur, risques sanitaires) et aux canalisations (corrosion, entartrage...) L'eau est alors jugée impropre à la consommation (et à sa distribution) à moins de subir au préalable un traitement approprié (cas des eaux chargées en nitrates). D'autre part, une teneur élevée d'un élément chimique peut être l'indice d'une pollution par d'autres substances toxiques : les résidus de pesticides accompagnent généralement la migration des nitrates d'origine agricole à la nappe (atrazine, simazine employées en particulier comme désherbants des cultures de maïs).

On distingue trois principaux types de pollution de l'eau, bactériologique, chimique et une pollution par les déchets aquatiques.

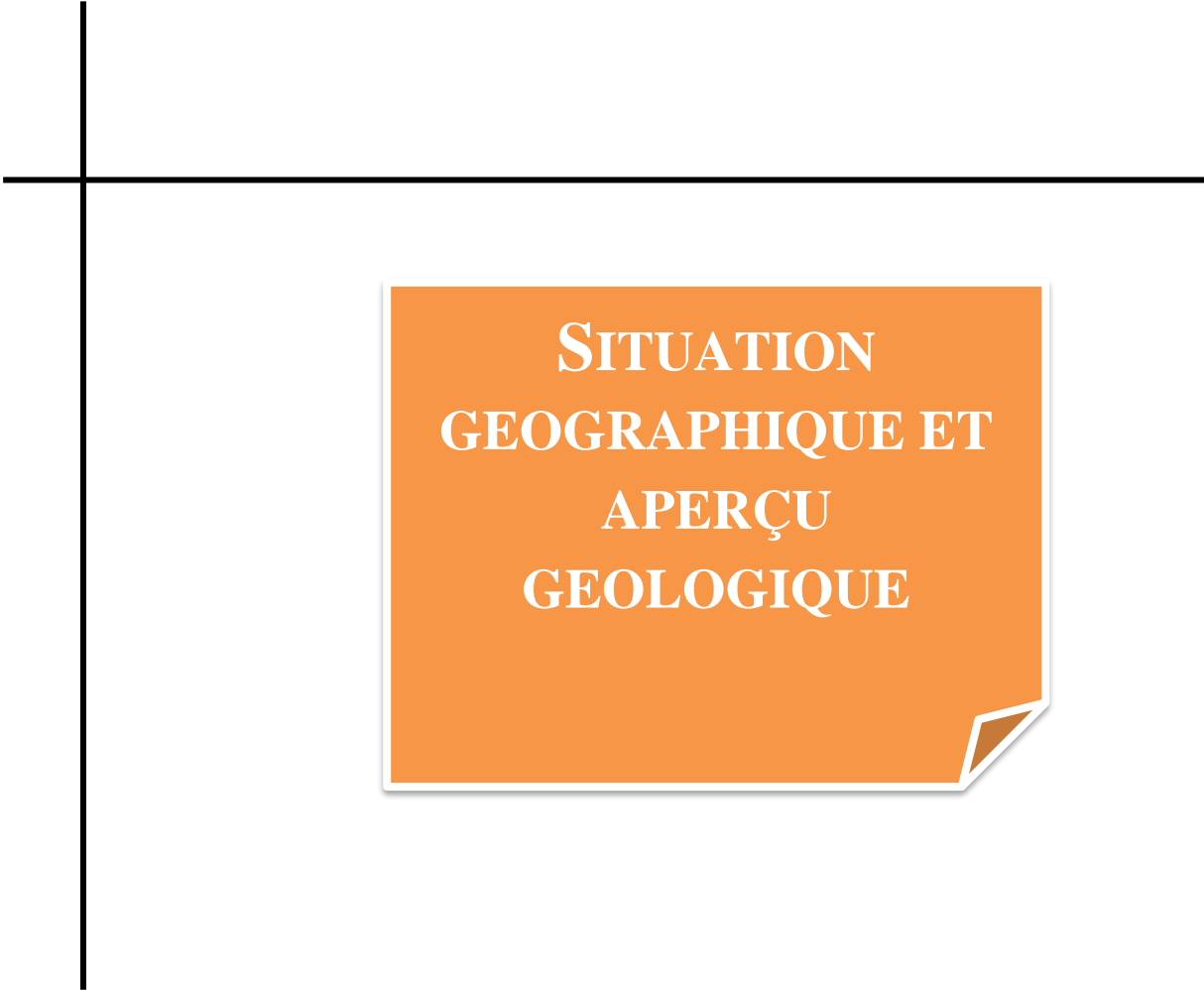
La pollution bactériologique qu'il s'agit de bactéries qui proviennent principalement des rejets d'eaux usées (non traitées) contenant de la matière fécale et des déchets organiques.

La pollution chimique, provient généralement des rejets d'eaux usées contenant des produits d'entretien, des hydrocarbures et des métaux lourds.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La pollution par les déchets aquatiques, elle est définie comme « Tout matériau ou objet fabriqué utilisé au profit de l'humanité qui est directement ou indirectement jeté ou abandonné dans les milieux aquatiques. »

La nappe Albienne et éventuellement protégée contre la pollution, donc la qualité des eaux de cette nappe est de bonne qualité. Le seul facteur intervenant sur la qualité est l'interaction eau-roche. Pour confirmer la contribution des formations géologiques aux changements de la qualité des eaux de la nappe, on a basé sur une étude hydro chimique et hydrogéochimique.



**SITUATION
GEOGRAPHIQUE ET
APERÇU
GEOLOGIQUE**

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

I. Introduction :

la région de Ghardaïa est située au nord du Sahara Algérien son chef-lieu jouit de caractéristiques exceptionnelles puisque d'un côté elle possède une tradition culturelle et un héritage tant artisanal qu'architectural admirables et de l'autre possède un ensemble remarquable de puits qui en font un centre agricole important au niveau national.

II. Représentation de la région d'étude :

II-1. Situation géographique

Même si Ghardaïa est un centre administratif (wilaya), elle reste avant tout un pôle commerçant et touristique

Des 5 cités originelles de la penta pole, Beni Isguen, Bou Noura, Melika et Ghardaïa sont très proches (à vue) les unes des autres, Ghardaïa puis Melika, rive gauche, Beni Isguen, rive droite, Bou Noura sur une hauteur au centre

II-1-1 Position géographique :

La wilaya couvre une superficie de 84660.12 km², et la surface agricole totale 13709.11 km² et, La population totale de la Wilaya est estimée à la fin de l'année 2011 à 413560 habitants contre 405015 en 2010, soit une augmentation absolue de 8545 et un taux d'accroissement démographique dégressif de l'ordre de 2,11 % en 2011, soit une densité de peuplement de 4,88 habitants/ km², est répartie sur 13 communes attribuées à 9 daïras (APW Ghardaïa), a s'avoir : (GHARDAÏA, EL MENIAA ,METLILI, BERRIANE ,DAÏA BENDAHOUA,MANSOURA ZELFANA, GUERRARA, BOUNOURA).

Cette densité moyenne de peuplement de la Wilaya est très faible. L'analyse des densités par commune montre le caractère inégal de la répartition de la population à travers le territoire de la Wilaya.

Elle est située à l'ouest du bassin secondaire du bas-Sahara, sur un plateau sub-horizontale, composé de calcaire dolomitique ; appelé couramment "dorsale du M'zab ". Il est jalonné par un réseau ramifié d'oueds de direction générale Ouest-Est., telles que l'Oued M'zab, Metlili, Sebseb, Mansourah, Nsaa (Berriane) et Oued Zegrir (Guerrara). (Khemgani S, ben khelifa.H ; 2014).

II-1-2. Limites géographiques :

La wilaya de Ghardaïa est située à 600km de la capitale algérienne au centre du Sahara septentrional algérien. Ses coordonnées géographiques sont :

- Altitude 480 m.
- Latitude 32° 30' Nord.

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

- Longitude 3° 45' Est

Elle est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km).
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km).
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km).
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1470 Km).
- Au Sud-Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km).
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayad (350 Km).

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

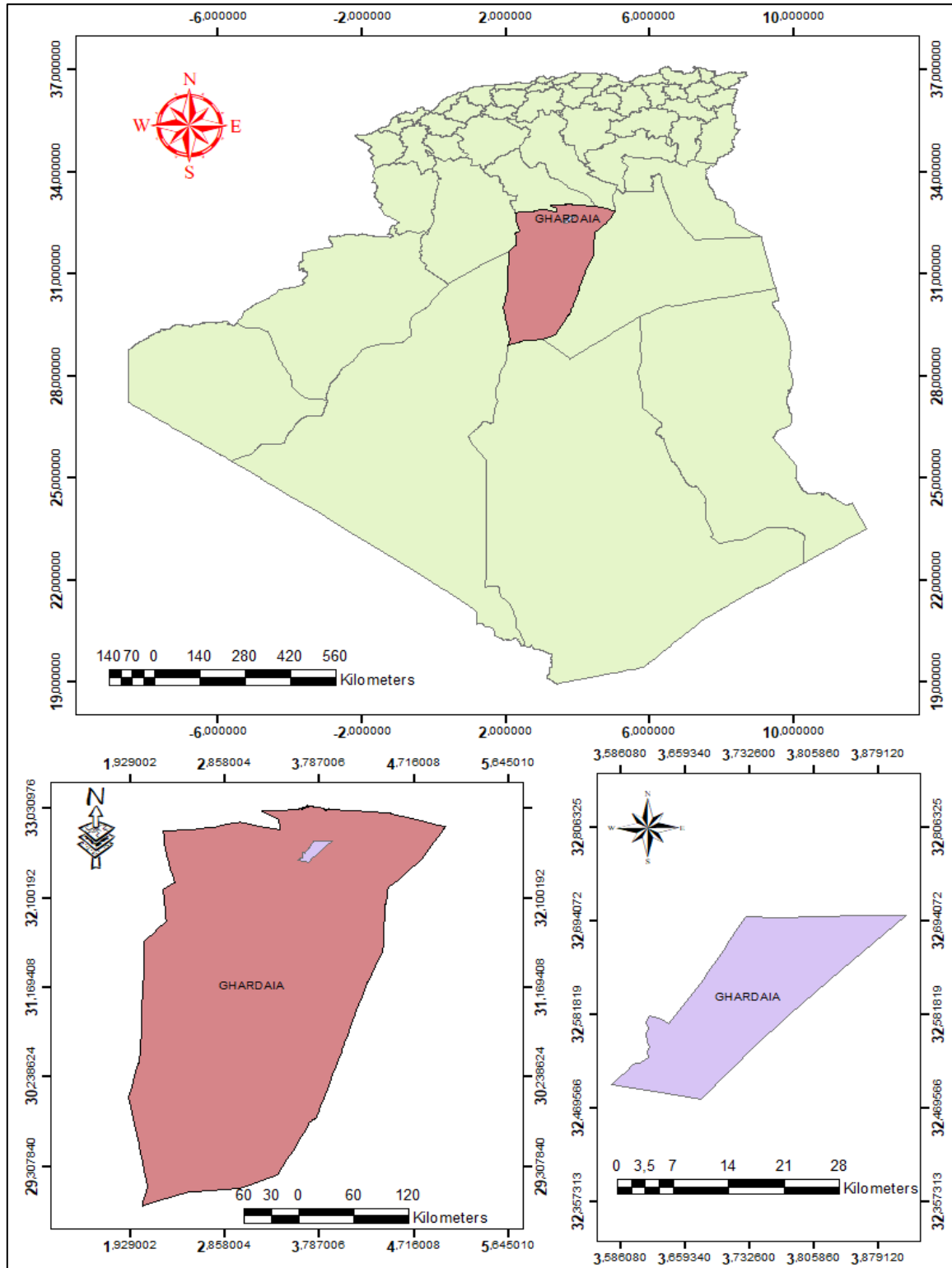


Figure I.1 : Carte de situation de ville Ghardaïa

II-2. La géomorphologie :

Le plateau du M'Zab forme un relief monoclinale, orienté nord- nord-est, et plongeant vers l'est-sud-est, composé par deux terrasses calcaires étagées et superposées couvrant deux

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

séries d'escarpements marneux. Elles comptent une falaise inférieure et son plateau, et une deuxième falaise supérieure et son plateau. La région d'étude fait partie intégrante de la Chebka du M'Zab caractérisée géo morphologiquement par un vaste et épais plateau, composé de terrains essentiellement carbonatés. Ce massif est élevé de plusieurs mètres d'altitude dans le nord-ouest, aride et dépouillé de toute végétation, et il est littéralement taillé par d'innombrables ravins plus ou moins profonds, lesquels se joignent et s'enchevêtrent en dessinant des réseaux réticulés qui donnent par une vue aérienne une apparence d'un filet dont l'appellation « Chebka » en arabe. La Chebka se situe entre les deux parallèles 31° et 33° et les deux longitudes 3° et 4°, elle correspond à un ensemble orographique globalement homogène. (SIOUSSIOU, DEDJEL2011).

II-2.1. Falaise inférieure et son plateau :

Le premier plateau (plateau inférieur) atteint 700m d'altitude, en allant vers l'ouest à partir des collines qui surplombent la ville de Ghardaïa, ce plateau est interrompu par une falaise orientée NS prenant naissance de Bled El Louha au 32°35N, prolongé au sud sur environ 60Km de la longueur suivant le méridien 3°E.

II-2.2. Falaise supérieure et son plateau :

La falaise supérieure se trouve à une altitude de 40m du plateau inférieur, elle forme un front de gour continu à l'Est de l'axe Berriane- Ghardaïa- Metlili, et présente une ligne de relief sinueuse orientée Nord –Nord Est. Vers l'Ouest, le plateau supérieur, érodé, représenté par quelques gours clairsemés, et plus à l'ouest jusqu'à environ 3°30'E des témoins isolés avancent loin sur le plateau inférieur. Des rivières subséquentes irrégulières courtes, et séparées les unes des autres, le long de deuxième escarpement dans le nord de M'zab, et finissent par rejoindre les grands oueds conséquents, l'exemple d'oued El Haimieur au nord de la ville de Ghardaïa, ou celui d'oued Azouil au nord de Bounoura lequel longent également des blocs de l'étage supérieur et recouvrent des ruisseaux obséquents à travers sa falaise. Dans la région de Hassi El Fahel au sud, la falaise supérieure est plus épaisse, moins déchiquetée qu'au Nord, marquée par le passage des oueds méridionaux conséquents. Le plateau supérieur à l'Est du deuxième escarpement, constitue un deuxième versant cataclinal, sur lequel se développe la Chebka orientale. Sur le plateau supérieur, en poursuivant notre cheminement dans le sens de la pente, jusqu'à la zone où le changement de la forme de réseau hydrographique est quasiment remarquable, une série de canaux, longs et parallèles prenant naissance par les nombreux affluents provenant de l'ouest, et convergent en divers points séparés par de larges plaines appelées chacune « Guentra ». Les grands oueds « Oued Nsa, oued M'Zab, oued Metlili...etc.»

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

serpentent à travers ces étroits canaux, et continuent leur descente vers le SE et finissent en dépressions fermées près de la cuvette d'oued Mya, la Chebka oriental cesse dans cette zone, de même que le plateau calcaire qui la supporte, en passant à cette vaste hamada d'atterrissement qu'est la région des Guentras. Ce changement a lieu dans le Nord à partir du 4°15'E, et aux Sud dès le 3°35'E, et ce, parallèlement au déplacement, continu de la ligne d'escarpement supérieure vers le Sud-Ouest.

II-2.3. Fissuration et Karstification :

✓ **Les karsts :**

Il existe deux grands karsts dans la région, les environs de Bounoura « la grotte de Figher » et celle de « Louss », sont creusés dans les roches profondes du plateau inférieur. Ces grottes souterraines s'étendent sur quelques centaines de mètres de longueur et sont étagées. Leur étage supérieur est situé à plus de 10 mètres de profondeur. À environ 60km au sud-est de Mansoura, un aven de 15 mètres d'ouverture et 100 mètres de profondeur (dans la région de Sahb el Bir) considéré comme grand karst, figuré comme un grand trou noir au milieu de hamada, rosâtre clair, du plateau supérieur. Les petits karsts prennent diverses formes et sont nombreux dans la région. (SIOUSSIOU, DEDJEL2011)

✓ **La fissuration :**

Les cassures verticales ou perpendiculaires à la stratification constituent l'essentiel des fissurations observées dans la région de Ghardaïa, on peut les rencontrer à toutes échelles. Des diaclases taillent la falaise verticale de 6 mètres sur laquelle repose la ville de Bounoura. Une fracture orientée Nord 110, de longueur d'environ 250 mètres, forme une large cavité naturelle à Beni Isguen, elle capte et emmagasine les eaux ruisselantes des pluies et sert de citerne aux villageois. (SIOUSSIOU, DEDJEL2011)

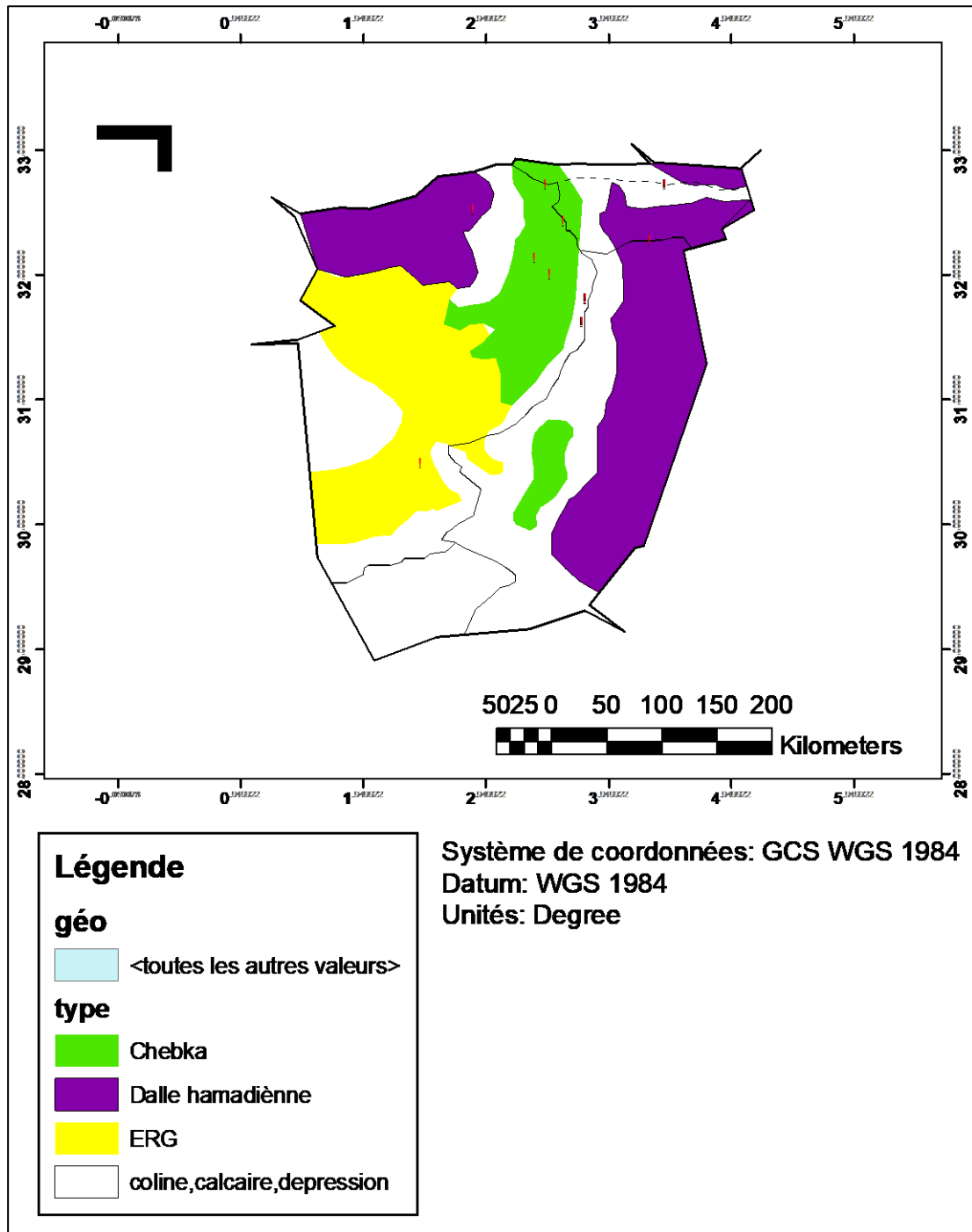


Figure I.2 : carte géomorphologique de la région de Ghardaïa

II-3. Contexte socio-économique :

L'agriculture oasienne représente la principale activité de la vallée, dont le sol est occupé en trois modes de : Culture des palmeraies en premier lieu.

-La Culture des arbres fruitiers.

-La Culture maraîchère et fourragère en intercalaire.

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

Le système d'irrigation se fait par submersion traditionnelle (seguias), rare sont ceux pratiquant le mode d'aspersion et la goutte à goutte. D'autres activités portant notamment sur le négoce, l'artisanat des tapis, ainsi que des petites et moyennes industries (verres, textiles, agroalimentaires, cosmétiques...etc.)

II-4. Situation géologique :

La dorsale du M'Zab présente une succession de formations géologiques allant du Trias au Quaternaire. Les assises carbonatées et marneuses du Crétacé supérieur s'épaississent et s'approfondissent progressivement vers l'Est, et se couvrent par des couches plus récentes d'âge Tertiaire (Mio-pliocène et Pontien) (J. Fabre, 1976). Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds de la dorsale du M'Zab

II-4.1. Description litho stratigraphique : Les formations géologiques existantes dans la région de Ghardaïa sont tous présentées par la carte géologique (Figure I.3)

II-4.1.1. Secondaire :

- ✓ **Trias :** Il correspond à des dépôts épais de grès perméables, surmontés par une puissante série salifère de sel gemme, d'anhydrite, de dolomite et d'argile. (Chabour, 1982).
- ✓ **Jurassique :** Ses limites inférieures et supérieures ne sont repérées que sur les diagraphies. Il est formé essentiellement de bancs de calcaires et de calcaires dolomitiques. (Chabour, 1982).
- ✓ **Crétacé :** Il correspond à une énorme série détritique fluvio-deltaïque de 200 à 1100 mètres de puissance. En partant des séries les plus anciennes, le Crétacé comprend. (Chabour, 1982).
- ✓ **Néocomien :**

Correspond à des dépôts argileux rouges et verts à anhydrite à la base puis d'alternance de dolomite et d'argile.

- ✓ **Barrémien :** Il est constitué par des grès rouges avec quelques intercalations argileuses.
- ✓ **Aptien :** Il présente un facies un facies lagunaire avec intercalations marines ; argiles et marnes, anhydrites, calcaires dolomitiques et dolomies.

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

- ✓ **Albien** : Il correspond à la masse grés-argileuse comprise entre la barre aptienne et les argiles sus-jacentes attribuées au Cénomaniens. Il est constitué en grande partie par des grés avec des intercalations d'argiles.
- ✓ **Cénomaniens** : Argiles dolomitiques grises à vert foncé avec des passés d'anhydrite massives de dolomies brunes et de calcaires argileux gris ou clair.
- ✓ **Turonien** : Calcaires cristallins ; calcaires marneux et calcaires dolomitiques (Chabour, 1982). On note aussi des structures d'endo karst fossiles, occasionnant des pertes totales ou partielles de la boue lors de l'exécution des sondages hydrauliques (ANRH, 1994).
- ✓ **Sénonien** : Les sédiments de cet étage présentent deux faciès bien individualisés, il s'agit d'un milieu lagunaire suivi d'un autre franchement marin (Chabour, 1982).
Sénonien supérieur : Il est formé de calcaire marneux et argileux à la base. Sénonien inférieur : Il est représenté par de calcaires gris ou blanc alternant régulièrement avec des marnes grisâtres parfois gypseuses.
Eocène inférieur Suc

II-4.1.2. Tertiaire :

Ession de banc calcaire cristallins durs blancs ou gris ; de calcaire crayeux de dolomies argileuses et de marnes (Chabour, 1982).

- ✓ **Eocène moyen** : Alternance d'argiles, de gypses, d'anhydrites et de calcaire dolomitiques
- ✓ **Mio-Pliocène(Pontien)** : Poudings, bancs de grés et argiles sableuse au pied de la chaîne, passant à des couches rouges sableuses et gypseuses de quelques mètres d'épaisseurs dite « croute saharienne » (Chabour, 1982).

II-4.1.3. Quaternaire :

- ✓ **Récents** : cailloutis et éboulis aux pieds des montagnes, dunes de sable, alluvions sableuses et caillouteuses des lits actuels d'oueds (Chabour, 1982).
- ✓ **Moyens** : calcaireux-gypseux, travertins de sources ; alluvions sableuses et argileuses.
- ✓ **Anciens** : Poudingues : grés, dépôts sableux et argileux.

SITUATION GEOGRAPHIQUE ET APERÇU GEOLOGIQUE

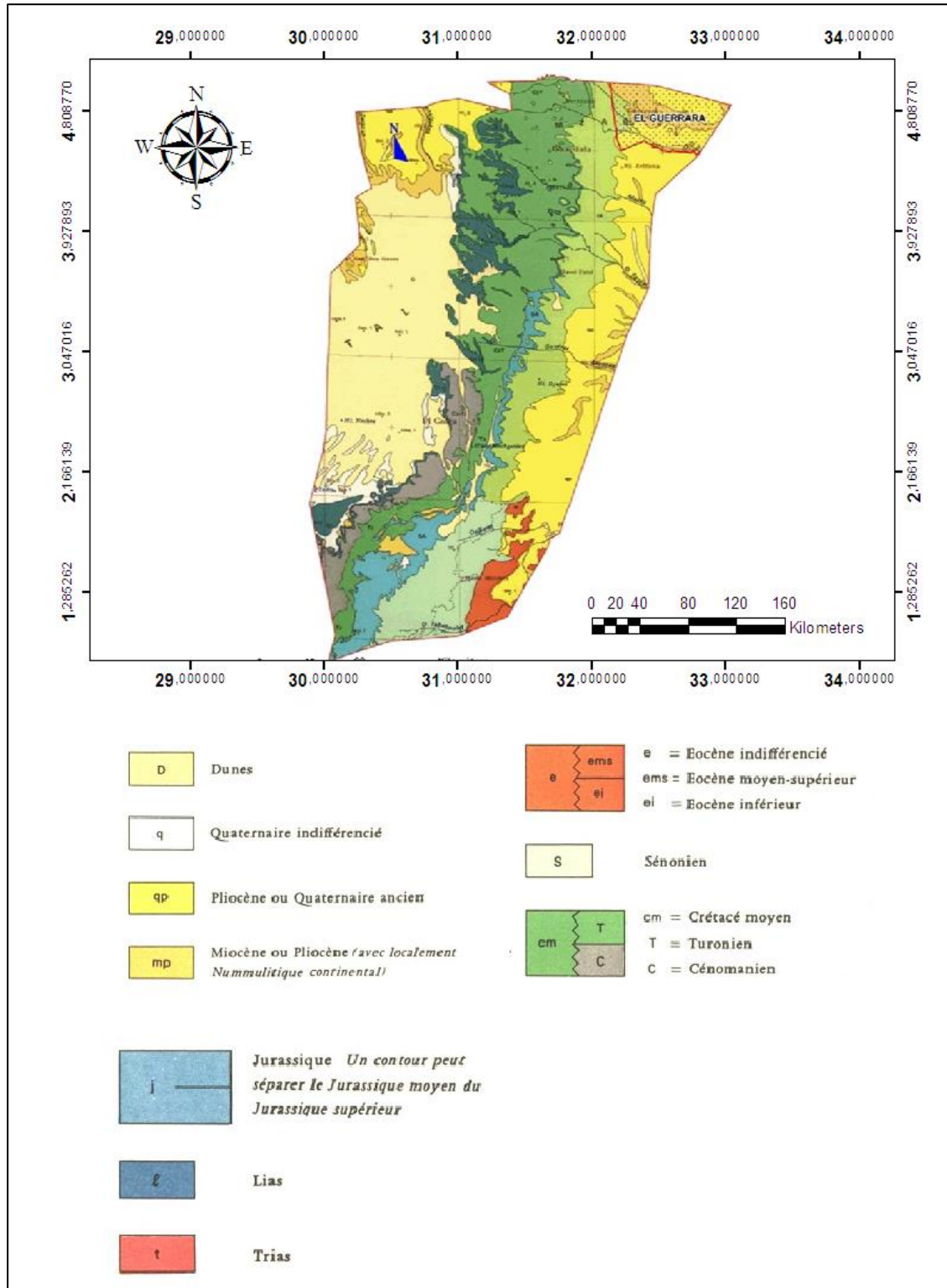


Figure I.3: Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (ANRH, 2010), modifiée.

III. Conclusion :

Ce chapitre nous montre que Ghardaïa est une ville désertique a un emplacement important dans le désert du nord et un terrain spécial et distinctif.

La plupart des habitants de Ghardaïa sont simples et travaillent dans l'agriculture, qui est leur source de revenus.

Notre région d'étude présente une succession de formations géologiques allant du Trias au Quaternaire. Les assises carbonatées et marneuses du Crétacé supérieur s'épaississent et s'approfondissent progressivement vers l'Est, et se couvrent par des couches plus récentes d'âge Tertiaire (Mio-pliocène et Pontien). Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds de la dorsale du M'Zab.



**APERCU
CLIMATIQUE**

APERCU CLIMATIQUE

I. Introduction :

La région de Ghardaïa est située dans le Sahara septentrional caractérisé par un climat chaud et sec en été et froid en hiver. L'étude climatique est très importante, elle nous permet de déterminer les caractéristiques de climat de notre région et mettre en évidence la contribution des différents facteurs à la variation des ressources en eau souterrain tel que la température, L'humidité, La précipitation, Le vent, L'évaporation et l'évapotranspiration.

II. Présentation de la station météorologique :

La seule station disponible à l'intérieur de notre bassin versant est celle de l'ONM située près de l'aéroport de Ghardaïa. Ses coordonnées sont :

Tableau N°01 : Caractéristique Géographique de Station Climatologique.

Code de la station	Nom de la station	Altitude Z(m)	Coordonnée		Période d'observation
			Latitude	Longitude	
605660	GHARDAIA " Noumérat "	468	32°24 N	03°48 E	2010 - 2020

III. Analyse des paramètres climatiques :

III-1. La température :

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

Tableau N°2 : Températures moyennes mensuelles, des maximas et des minimas pour les dix ans (2010-2020) de la région de Ghardaïa.

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T _{min}	8	8	15	50	23	27	30	28	25	18	14	9
T _{max}	18	22	24	29	34	40	44	41	36	30	22	20
T _{moy mensuelle}	14.4	16.3	21	17	31.7	40	41	40	35	28	20	15

APERCU CLIMATIQUE

On observe à partir du tableau que :

- La température minimum est enregistrée en mois janvier et février avec une valeur de 8 C°.
- La température maximum est observée en juillet avec une valeur de 44°C.
- La moyenne mensuelle des températures à la station météorologique est de l'ordre de 24,74°C, elle est comprise entre 14.4 °C (Janvier) et 41°C (juillet).

La courbe représente des températures (min, max et moy) montrent pratiquement la même allure avec chacune. Un axe de symétrie (mois de janvier). Ce qui nous laisse supposer la présence de trois périodes bien distinctes.

- Une phase allant du mois d'Avril à Juin marquée par une nette progression des températures.
- Une période de stabilité maximale de mois de Juin à Aout.
- Une période qui débute au mois de Septembre où les températures baissent pour atteindre leur minimum au Décembre.

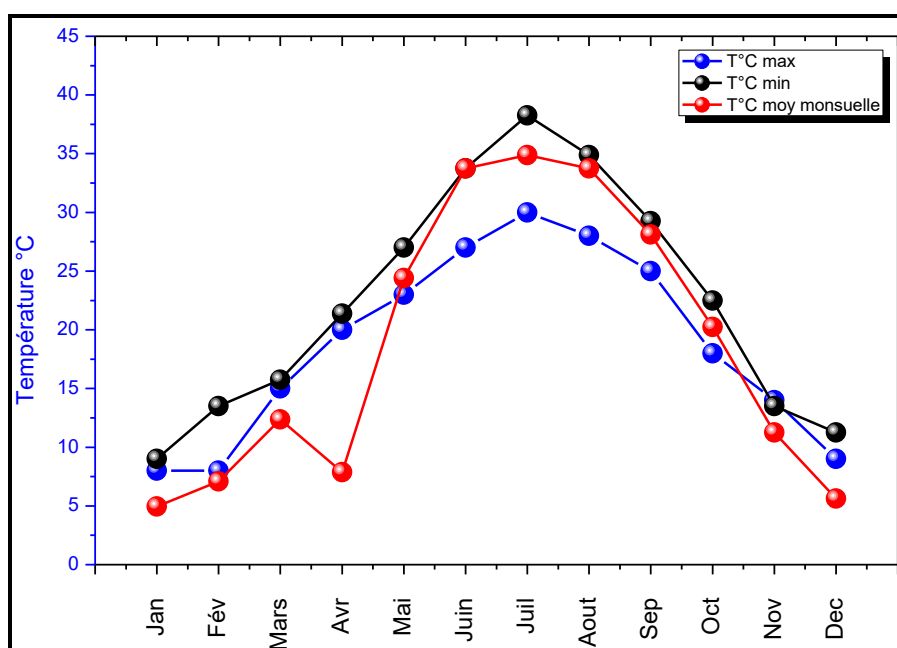


Figure II.1 : Variation des Températures mensuelles de la région de Ghardaïa (2010-2020).

III-2. Précipitation :

✓ Précipitations moyennes mensuelles :

Pour l'étude des précipitations on a obtenu une série pluviométrique de l'ONM de Ghardaïa pour une période qui s'étale de dix ans (2010-2020). Selon le (Tableau 04), on observe que le mois de Septembre est le plus pluvieux avec une moyenne de 8.29 mm Par contre le mois de Février est le plus sec avec une moyenne de 2.2 mm.

Tableau N°3 : Précipitations moyenne mensuelles de la région de Ghardaïa (2010-2020).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
P moyennes mensuelles (mm)	2.79	2.2	6.89	5.093	4.4	4.18	2.79	6.193	8.294	4.29	3.59	2.69

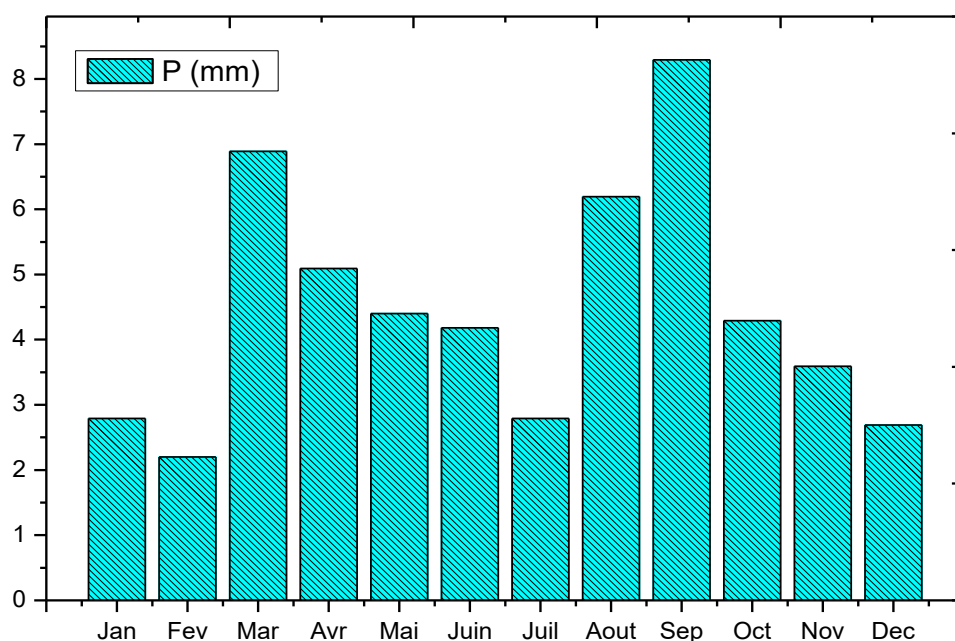


Figure II.2 : Variation des Précipitations moyenne mensuelles de région de Ghardaïa (2010 2020).

III-3. Humidité :

L'humidité représente le pourcentage de l'eau existant dans l'atmosphère. L'humidité moyenne de la région est très faible pendant le mois de juillet avec une valeur de l'ordre de 20.60 % et importante au mois de décembre avec une valeur de 62.40 %.

APERCU CLIMATIQUE

Tableau N°4 : Humidité moyenne mensuelle de la région de Ghardaïa (2010-2020).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Hum (%)	56.59	48.4	41.19	35.2	29.49	25.69	20.59	24.69	32.39	40.59	51.7	62.39

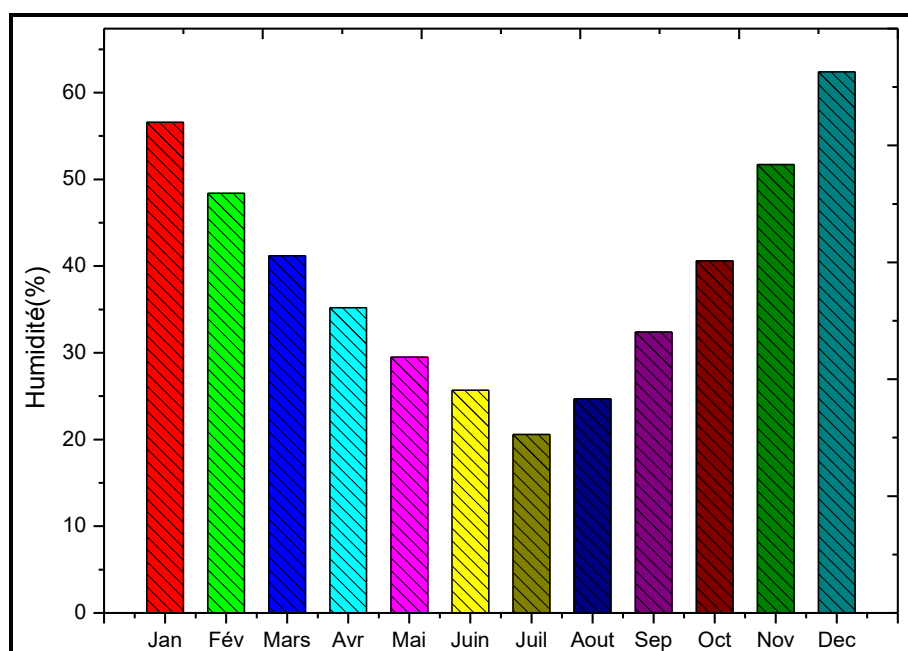


Figure II.3 : Variation d'Humidité moyenne mensuelles de région de Ghardaïa (2010-2020).

III-4. Le vent :

Le vent est un agent climatique influant directement sur le climat d'une région. Sa vitesse Régit l'évaporation à la surface du sol et de la végétation.

La région de Ghardaïa est traversée par des vents de direction générale N-O.

Les vitesses Moyennes mensuelles des vents à la station ONM Ghardaïa. Sont illustrées dans le tableau Suivant :

Tableau N°5 : Les vitesses moyennes mensuelles des vents de la région de Ghardaïa (2010-2020).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
V _{vent}	21.89	25.09	26.5	26.5	25.9	24.89	21.39	19.69	20.6	20	21.69	20.39

On remarque que le maximum des vitesses est enregistré au mois de Mars et Avril avec une valeur de l'ordre de 26.5 m/s et le minimum est observé au mois d'Aout avec une valeur de 19.70 m/s

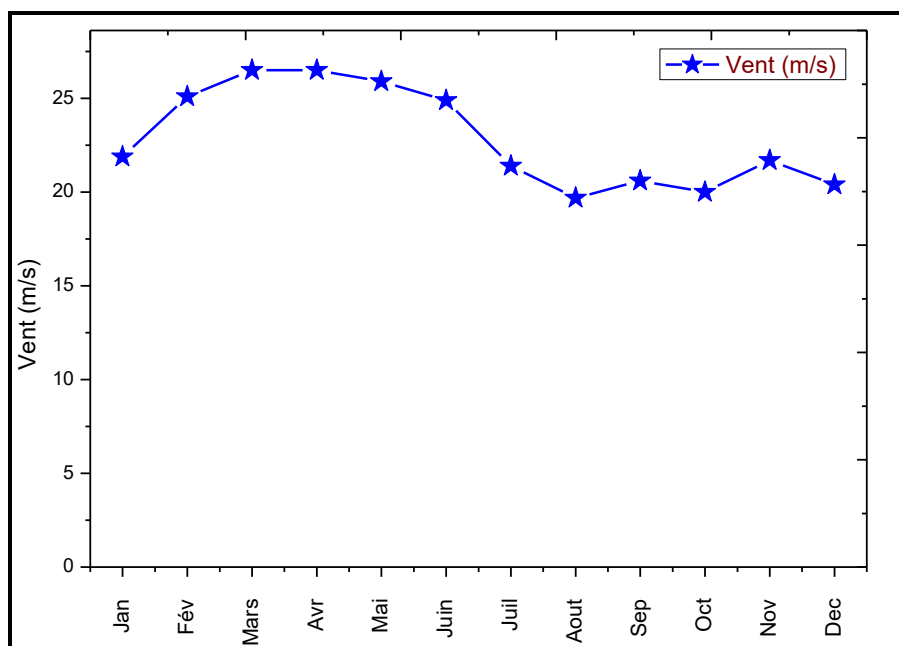


Figure II.4 : Variation des vitesses moyennes mensuelles des vents de région de Ghardaïa (2010-2020).

III-5. Diagramme ombrothermique de Gausson $P=2T$:

Le diagramme ombrothermique relève des tentatives pour dépasser un problème : on ne peut pas mesurer le climat, mais seulement des éléments (précipitation, température, humidité...). Une combinaison peut être tentée par calcul : de là vient la mode des indices climatiques associant dans une formule les deux éléments considérés comme essentiels, précipitations et températures. Le diagramme ombrothermique repose sur une formule : si $P/T < 2$ alors le mois est «sec», avec :

P : précipitation mensuelle moyenne exprimé en millimètres.

T : température mensuelle moyenne exprimée en degrés Celsius.

Le but de cette analyse est de déterminer le climat.

Tableau N°6 : données du diagramme ombrothermique de Gausson (2010/2020).

mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
P_{moy} mensuelle	2.79	2.2	6.89	5.093	4.4	4.18	2.79	6.193	8.294	4.29	3.597	2.695
T_{moy} mensuelle	14.4	16.3	21	17	31.7	40	41	40	35	28	20	15

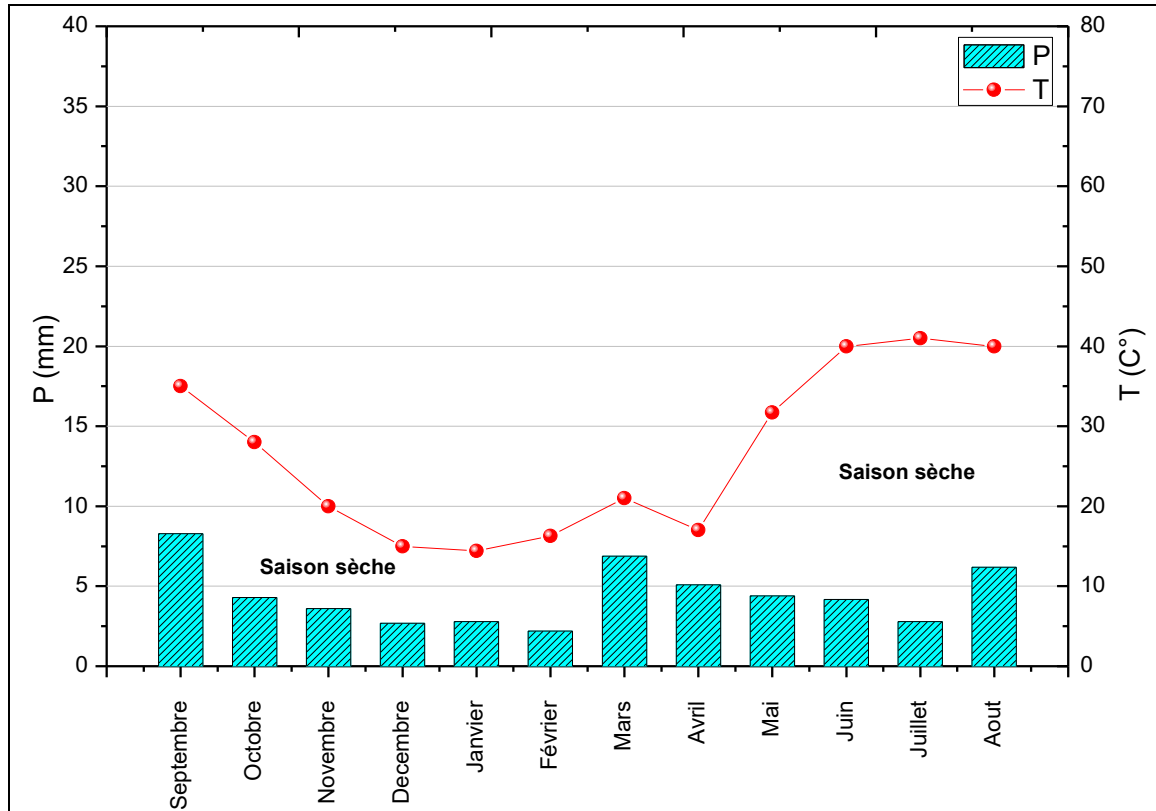


Figure II.5 : Diagramme Ombrothermique de Gausse $P = 2T$ de la région de Ghardaïa (2010-2020).

Le diagramme ombrothermique pour la station de Noumérat, montre une saison sèche s'étend du mois Septembre jusqu' à le mois Janvier.

III-6. Le bilan hydrique de la station de Ghardaïa :

III-6.1. Notion du bilan d'eau :

L'établissement du bilan hydrique a pour but de connaître les différents paramètres (ETP, ETR, RFU, DA, EXC), qui nous aident à comprendre le fonctionnement des systèmes hydrologique (Laborde, 1982).

Lorsque la réserve facilement utilisable (RFU) est totale, il y a un surplus d'eau accompagné généralement par un écoulement et dès que la RFU diminue, il y a un épuisement du stock au point où la RFU sera complètement vide, il y aura un déficit agricole (DA)

III-6.2. Étude de l'évapotranspiration :

L'évapotranspiration constitue l'élément le plus important du bilan hydrologique après les précipitations, représentée par une quantité d'eau et restituée à l'atmosphère sous forme de vapeur.

L'évapotranspiration englobe l'ensemble des phénomènes d'évaporation (physique) et transpiration (biologique).

Le phénomène d'évapotranspiration réelle et potentielle peut être mesuré directement sur le terrain à partir d'un bac d'évaporation ou d'un évaporomètre, grâce également à des lysimètres, ou calculer par des formules empiriques telles que celle de **Turc** ou de **Thornthwaite** ...etc.

III-6.3. Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR):

L'évapotranspiration réelle s'identifie au déficit d'écoulement et peut se calculer à partir de nombreuses formules qui induisent l'utilisation de deux paramètres climatiques à savoir : la pluviométrie et la température. L'évapotranspiration réelle est liée à la quantité de pluie tombée dans le bassin et de la réserve maximale en eau du sol.

III-6.4. Formule de Turc :

$$ETR = P / (0.9 + P^2/L^2)^{1/2} \quad \text{où} \quad L = 300 + 25t + 0.05t^3$$

Avec :

ETR : Evapotranspiration réelle annuelle (mm).

P : Précipitation annuelle (mm).

T : Température moyenne annuelle (°C).

L : Pouvoir évaporant

APERCU CLIMATIQUE

Tableau N°7 : Bilan hydrique de la station de Noumérates (2010/2020).

Mois	JAN	FE	MRS	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP	OCT	NOV	DEC
T °C	14.4	16.3	21	17	31.7	40	41	40	35	28	20	15
P (mm)	2.8	2.2	6.9	5.1	4.4	4.2	2.8	6.2	8.3	4.3	3.6	2.7
I	5.0	6.0	8.8	6.4	16.4	23.3	24.2	23.3	19.0	13.6	8.2	5.3
I	159.3											
A	3.05											
K	0.87	0.85	1.03	1.10	1.21	1.22	1.24	1.16	1.03	0.97	0.86	0.81
ETP_c (mm)	10.2	14.6	38.3	21.5	157.8	323.2	354.2	307.3	181.6	86.6	27.5	10.8
ETR (mm)	2.8	2.2	6.9	5.1	4.4	4.2	2.8	6.2	8.3	4.3	3.6	2.7
RFU (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DA (mm)	7.4	12.4	31.4	16.4	153.4	319.0	351.4	301.1	173.3	82.3	23.9	8.1
EXC (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

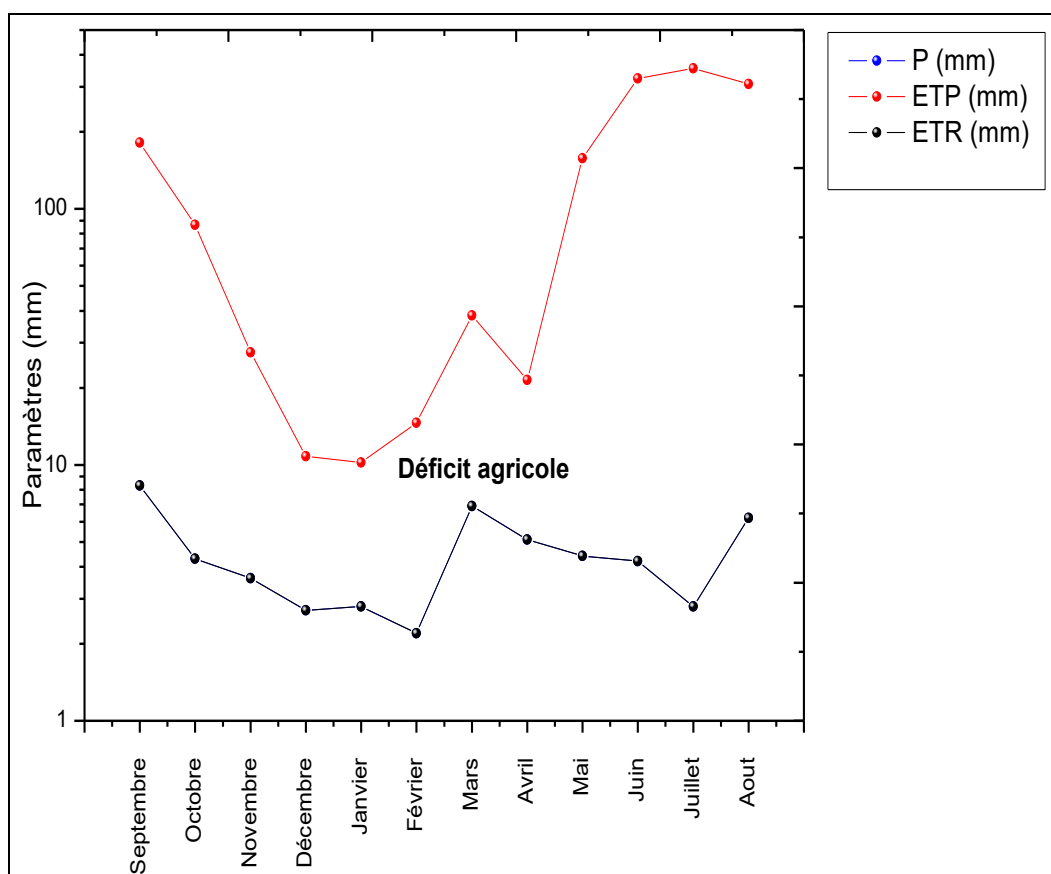


Figure II.6 : Représentation graphique du bilan d'eau selon la méthode de Thorn-CS de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

Le bilan d'eau selon la méthode de Thorn-CS de la station de Noumérates, montre que l'année est déficitaire.

IV. Conclusion :

Le climat de la ville de Ghardaïa est de type saharien. La moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 53,5 mm, tandis que l'évapotranspiration réelle moyenne est de l'ordre de 53,5 mm /an, soit 100 % de la totalité des précipitations. Le bilan hydrique estimé à partir de la méthode de Thorn-CS montre que l'année est déficitaire.

On utilise cette méthode parce que la pluviométrie est très faible dans notre ville



ETUDE
HYDROCHIMIQUE ET
HYDROGEOCHIMIQUE

I. Introduction :

L'étude de la chimie des eaux souterraines apporte à l'hydrogéologie une somme considérable de renseignements utiles à la compréhension des phénomènes se produisant dans les systèmes aquifères. C'est-à-dire dans les échanges possibles entre l'eau et la roche, sachant que la minéralisation des eaux souterraines peut provenir de l'acquisition des éléments chimiques par la dissolution et l'altération des minéraux du réservoir.

L'étude de la chimie des eaux souterraines, elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des différents éléments dissous et d'estimer leur origine, d'estimer la profondeur de circulation des eaux, et d'apprécier la qualité des eaux vis-à-vis de la potabilité et à l'irrigation.

C'est dans ce but que ce chapitre a été consacré, où on a utilisé certain nombre de diagrammes avec les différentes cartes qui ont été tracés pour l'ensemble des éléments chimiques. Une analyse statistique a été effectuée aussi sur les principaux paramètres caractérisant le chimisme des eaux de l'aquifère. (Badreddine Rahmani ; 2016)

II. Logiciels utilisés :

On choisit ces logiciels parce que elles nous aident dans notre travail et leurs résultats sont très précises

-**Arc gis 10.2** : Arc GIS est une suite de logiciels d'information géographique (ou logiciels SIG) développés par la société américaine Esri (Environmental System Research Institute).

ArcGIS comprend les logiciels de bureau Windows suivants :

- Arc Reader, qui permet d'afficher et d'interroger des cartes créées avec les autres produits Arc GIS ;

- ArcGIS Desktop (souvent appelé « ArcMap » pour le distinguer d'ArcGIS Pro), composé de quatre applications fondamentales:

- ArcMap, pour visualiser et éditer des données spatiales en deux dimensions et créer des cartes bidimensionnelles ;

- ArcScene, pour visualiser et éditer des données spatiales en trois dimensions dans une vue projetée locale ;

- Arc Globe, pour afficher de grands ensembles de données 3D globaux ;

- ArcCatalog, pour la gestion des données SIG et les tâches de manipulation.

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

•ArcGIS Pro, une nouvelle application SIG intégrée, prévoyait de remplacer à terme ArcMap et ses programmes compagnons. ArcGIS Pro fonctionne en 2D et 3D pour la cartographie et la visualisation, et inclut l'intelligence artificielle (IA).

-Origin8 pro : Origin est un logiciel de traitement et d'analyse de données scientifiques pour environnement Microsoft Windows développé par OriginLab. Il permet notamment de tracer des graphes 2D et 3D et possède des fonctions d'analyse de pics. Il est aussi capable d'importer des fichiers de divers formats tels que Excel, ASCII, Mathematica ou SigmaPlot, et d'exporter les graphes en format JPEG, GIF, TIFF etc.

-Diagrammes : Des diagrammes particuliers ont été développés pour représenter les résultats d'analyses hydro chimiques et en tirer des renseignements particuliers. L'emploi de ces diagrammes s'avère précieux, car il rend simple et directe l'interprétation d'analyses riches et difficiles à interpréter de but en blanc. Ces diagrammes toutefois n'emploient pas tous les éléments analysés, nécessitent que certains éléments le soient absolument, et sont parfois utilisés pour un objectif spécifique (reconnaître le faciès d'une eau souterraine ou repérer des processus de salinisation par exemple)

✓ Les analyses physico-chimiques des forages de la nappe albiennaise de la ville de Ghardaïa :

Nom	X	Y	cond	T	pH	NO3	HNO3	Ca2	Mg2	K	Na	Cl	SO4	NO2	Fe	NH4
hadj messaoud	3,69	32,49	2400	22.5	7.66	20.85	138	171.5	80	8.66	268.8	500	292	0.001	0.009	0
melika haut	3.69	32.49	2270	22.5	7.64	21.23	129	149.1	91.6	8.66	239	419.8	256	0.002	0	0.001
Bouhraoua bas	3.68	32.50	2340	22	7.67	19.16	156	176.4	67.8	8.66	239	438.1	122.6	0.004	0	0.06
Bouhraoua 3	3.683	32.50	2160	21.2	7.68	17.3	161	166.7	82.8	8.66	211.1	415.5	315.6	0.002		0.09
Bensmara n1	3.662	32.50	2100	22	7.68	24.01	149	157.1	84.8	9.33	200	381.4	213.5	0.004	0	0
Bensmara n2	3.664	32.5	2300	21.5	7.7	22.08	147	171.5	32.3	8.66	227.7	422.5	345.2	0.002	0	0
Oued nechou2	3.73	32.60	2250	20.6	7.58	25.72	132	157.1	85.2	9.33	172.7	358.7	229.6	0.002	0	0

III. Facies chimique :

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation .Elle permet de suivre aussi l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques et d'estimer leur origine en les corrélant avec la géologie et la piézométrie (**Afrique SCIENCE 05(2) (2009) 217 - 231 ISSN 1813-548X**)

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé les méthodes principales les plus utilisées : la classification de Piper, de Stableur. Toutes ces classifications sont basées essentiellement sur la composition chimique.

III-1. Diagramme de piper :

Pour évaluer la qualité des eaux souterraines de la nappe albienne de la ville de Ghardaïa en vue d'un usage agricole ou usage domestique, nous avons utilisé le diagramme de PIPER, pour la détermination des faciès chimiques. On constate que les eaux analyser sont globalement chloruré-sodique.

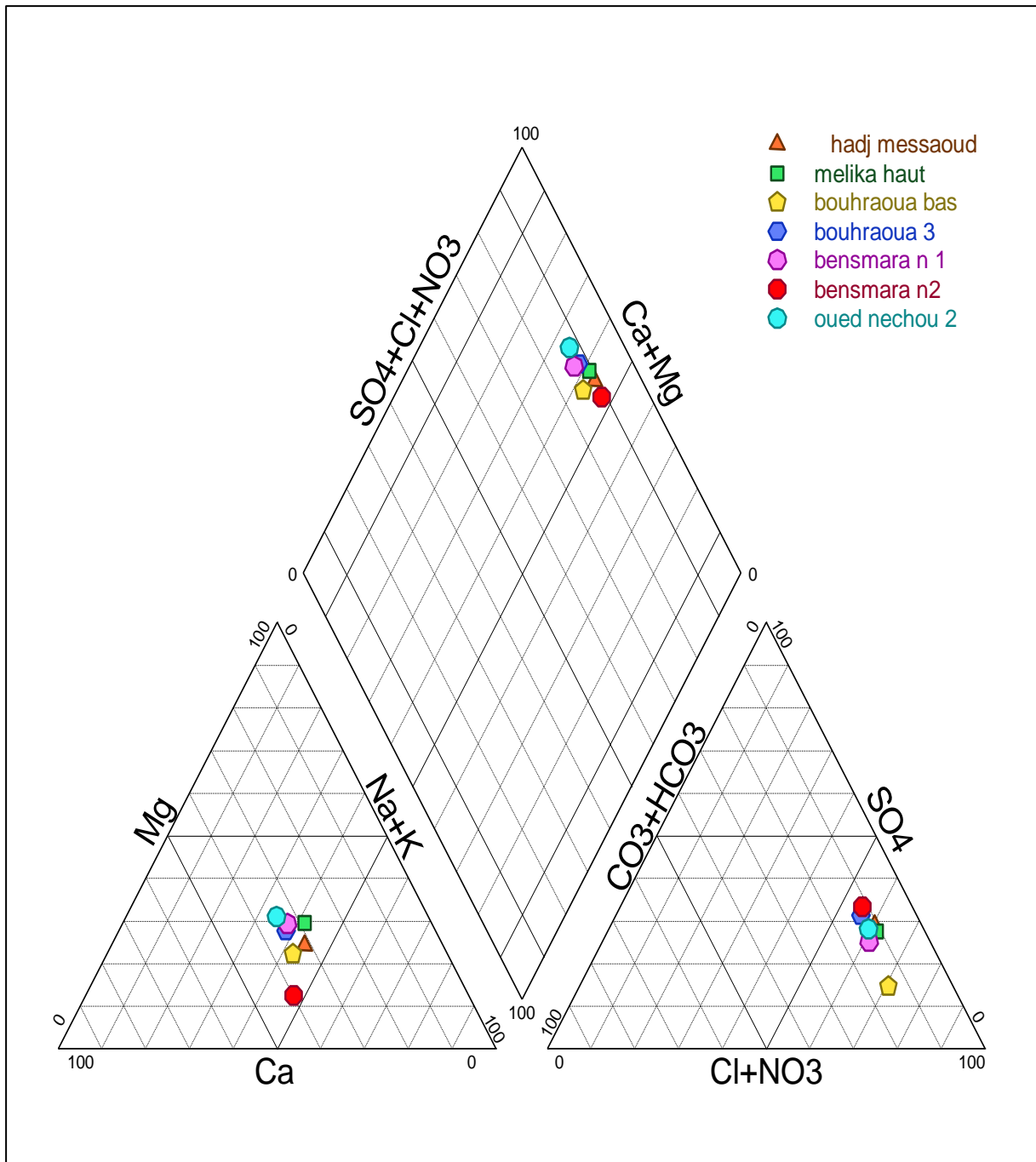


Figure III.1: Diagramme de Piper pour les eaux souterraines de la région de Ghardaïa

III-2. Diagramme de stableur :

Ce diagramme est très utile pour l'étude des équilibres carbonatés. Il permet de représenter très rapidement l'alcalinité, l'alcalinité résiduelle calcite et les alcalinités résiduelles généralisées. On classe séparément les anions et les cations par ordre décroissant. (HADDAD. H, GHOUALEM. H ; 2013)

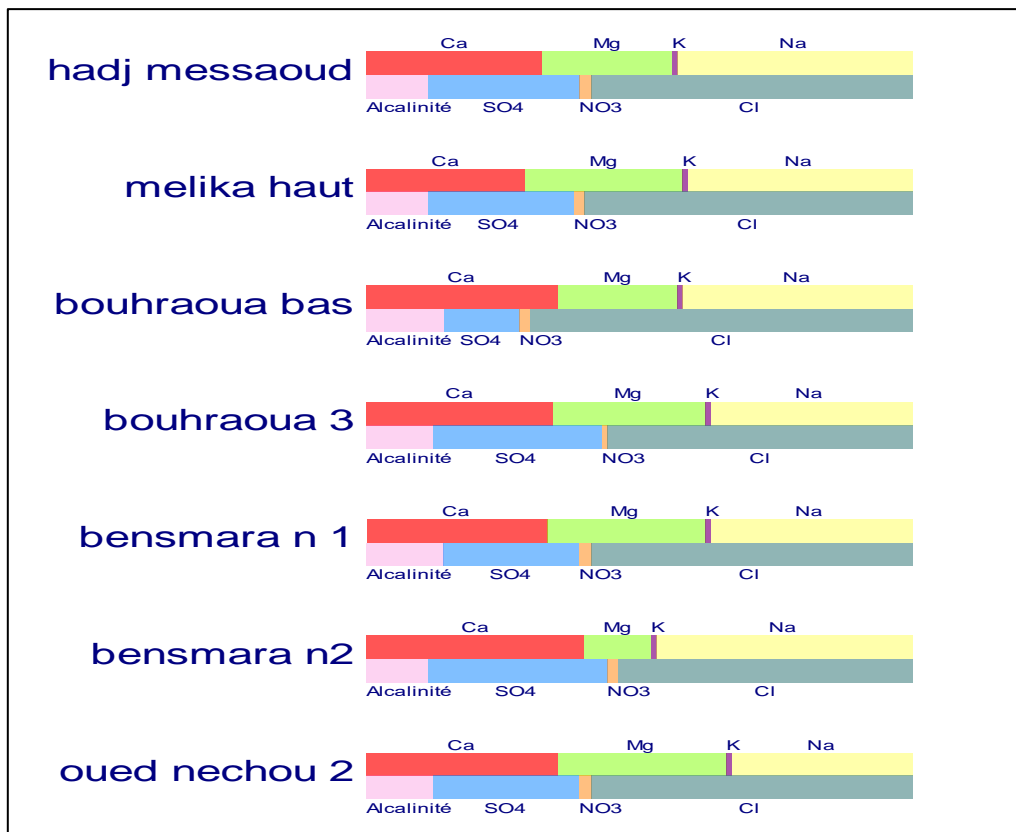


Figure III.2 : Diagramme de Stabler pour les eaux souterraines de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

IV. Répartition et chimisme des eaux :

IV-1. Répartition spatiale des températures :

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques. Certes, toute variation brusque de ce paramètre entraîne une perturbation dans l'équilibre de l'écosystème aquatique. (Chapman al, 1996)

La température des eaux prélevées dans la région étudiée, varie de 20 à 23 °C, elle ne dépasse pas les normes fixées par l'OMS (25 °C). Cette variation de température des eaux souterraines peut être fonction de la profondeur de l'aquifère.

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

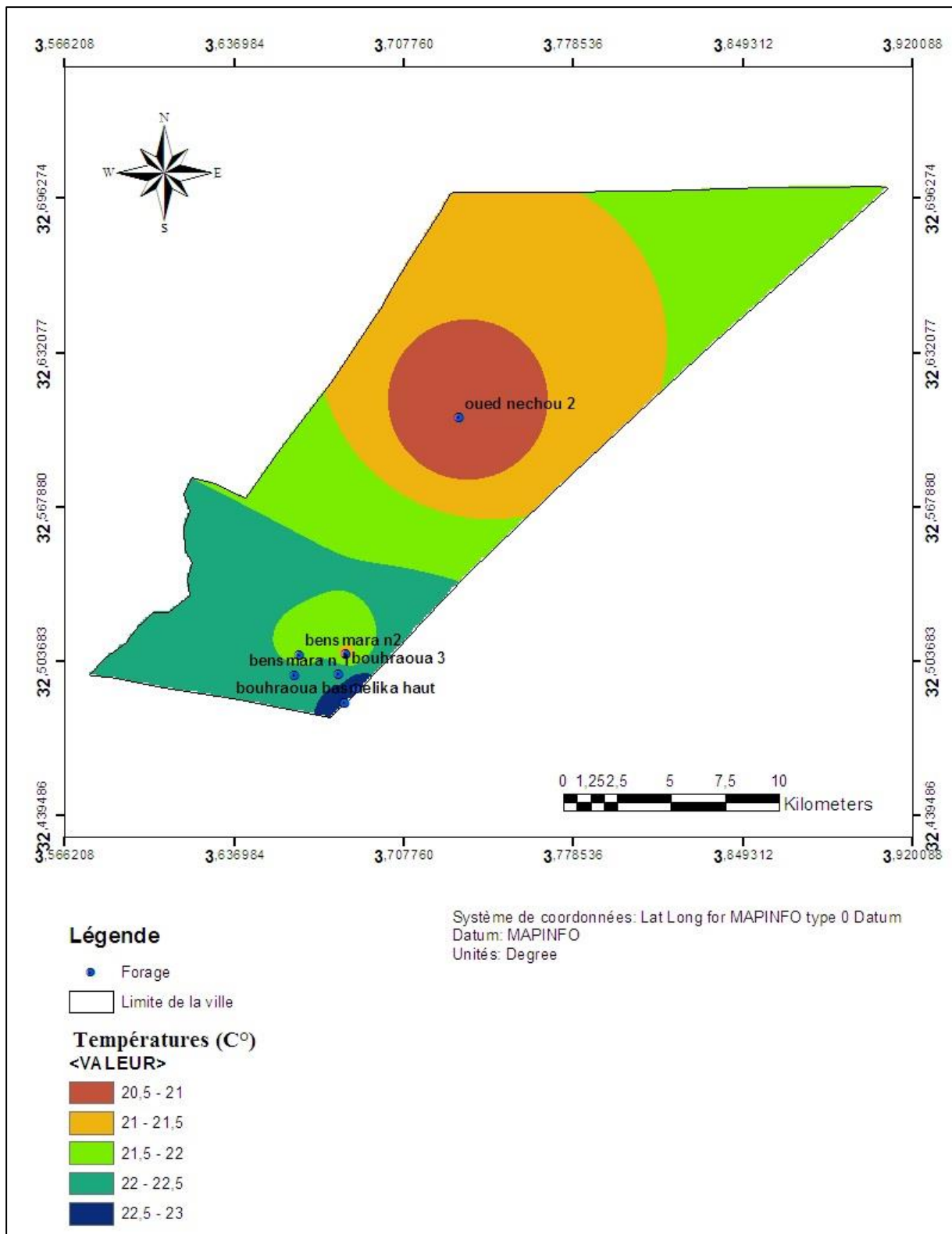


Figure III.3 : Répartition spatiale des températures de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

IV-2. Répartition spatiale du Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H⁺ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau, il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau (aptitude à dissoudre le calcaire). (Ghazali et al, 2013)

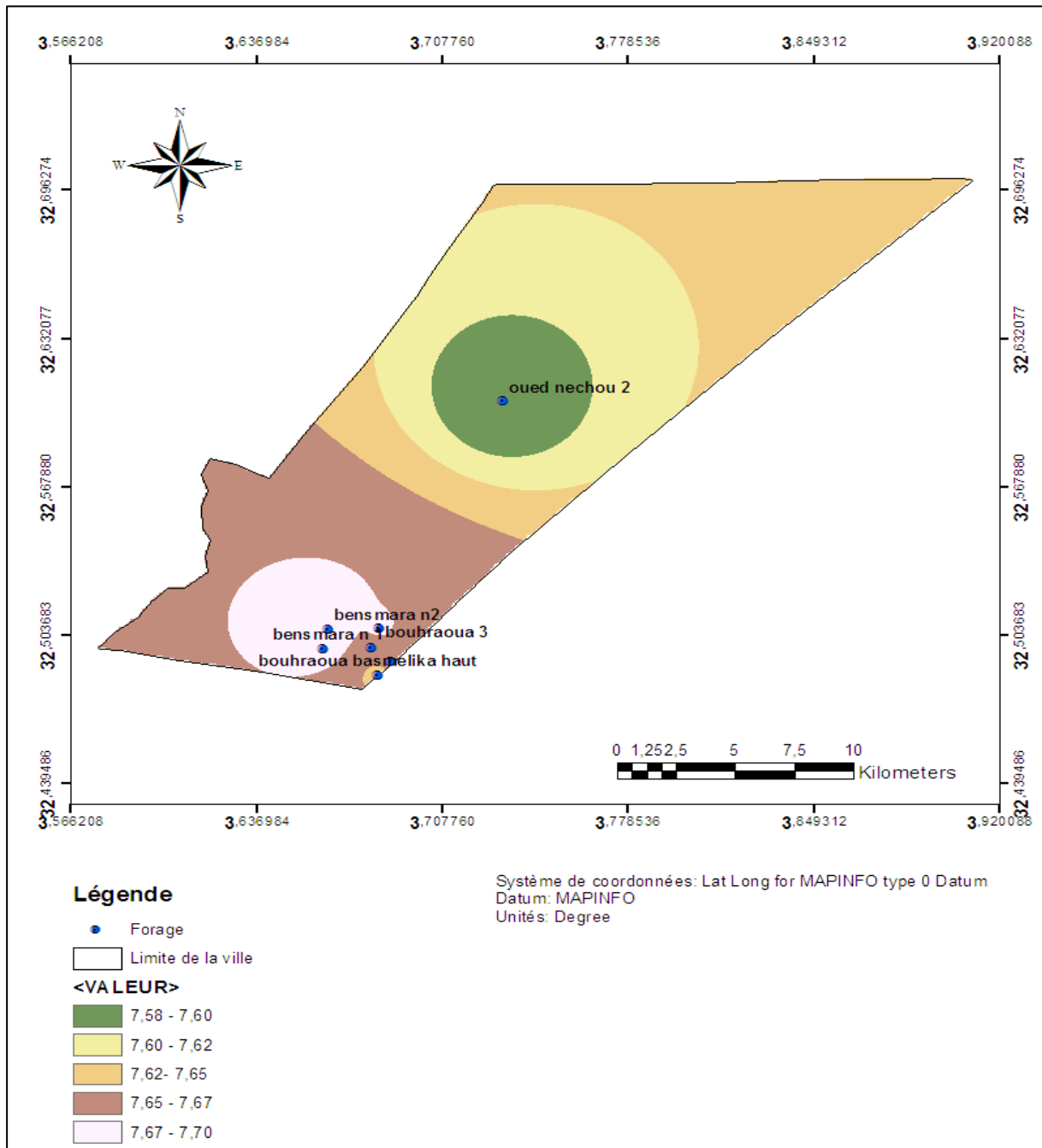


Figure III.4 : Répartition spatiale du pH de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

Des pH, oscillent entre 7,58 et 7,70 est la chose perceptible dans les eaux de la région.

Les forages (**Ben Smara N°2 ; Bouhraoua bas et Bouhraoua N°3**) sont marqués par un pH élevé (7.70).

Alors que le forage (**Oued Nechou N°2**) est le forage marqué par un pH faible par rapport aux autres. Le pH des eaux souterraine de ville Ghardaïa sont supérieures à 7 ce qui nous donne une eau basique.

IV-3. Répartition spatiale de la conductivité électrique :

La conductivité est une fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. Elle sert aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau, elle est donc corrélable à la minéralisation de celle-ci. La conductivité s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). (Ghazali et al, 2013)

Les eaux souterraines de **ville de Ghardaïa** sont observées par une conductivité électrique très élevée mais quelle ne dépassent pas les normes Algérienne des eaux potables. Des concentrations varient de 2100 et 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui explique la salinité des eaux de la région.

Le forage (**Hadj Messaoud**) est marqué par une conductivité électrique plus élevée 2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

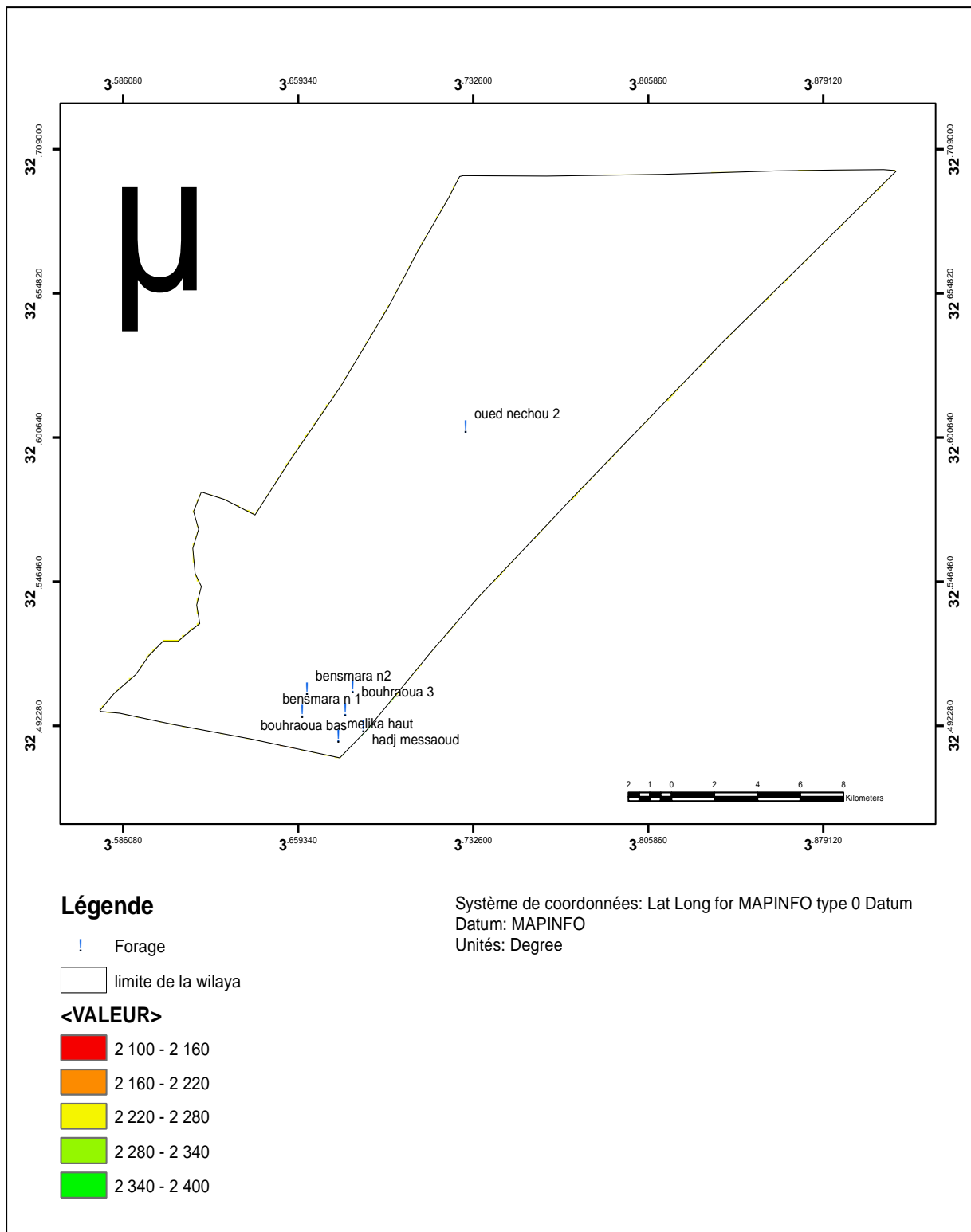


Figure III.5: Répartition spatiale de la conductivité électrique de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

IV-4. Répartition spatiale de sodium (Na^{2+}) :

Le Sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions variables, il provient essentiellement du lessivage des formations riches en Na Cl (argiles et marnes) et des eaux usées d'origine industrielle et domestique. (Badreddine Rahmani ; 2016)

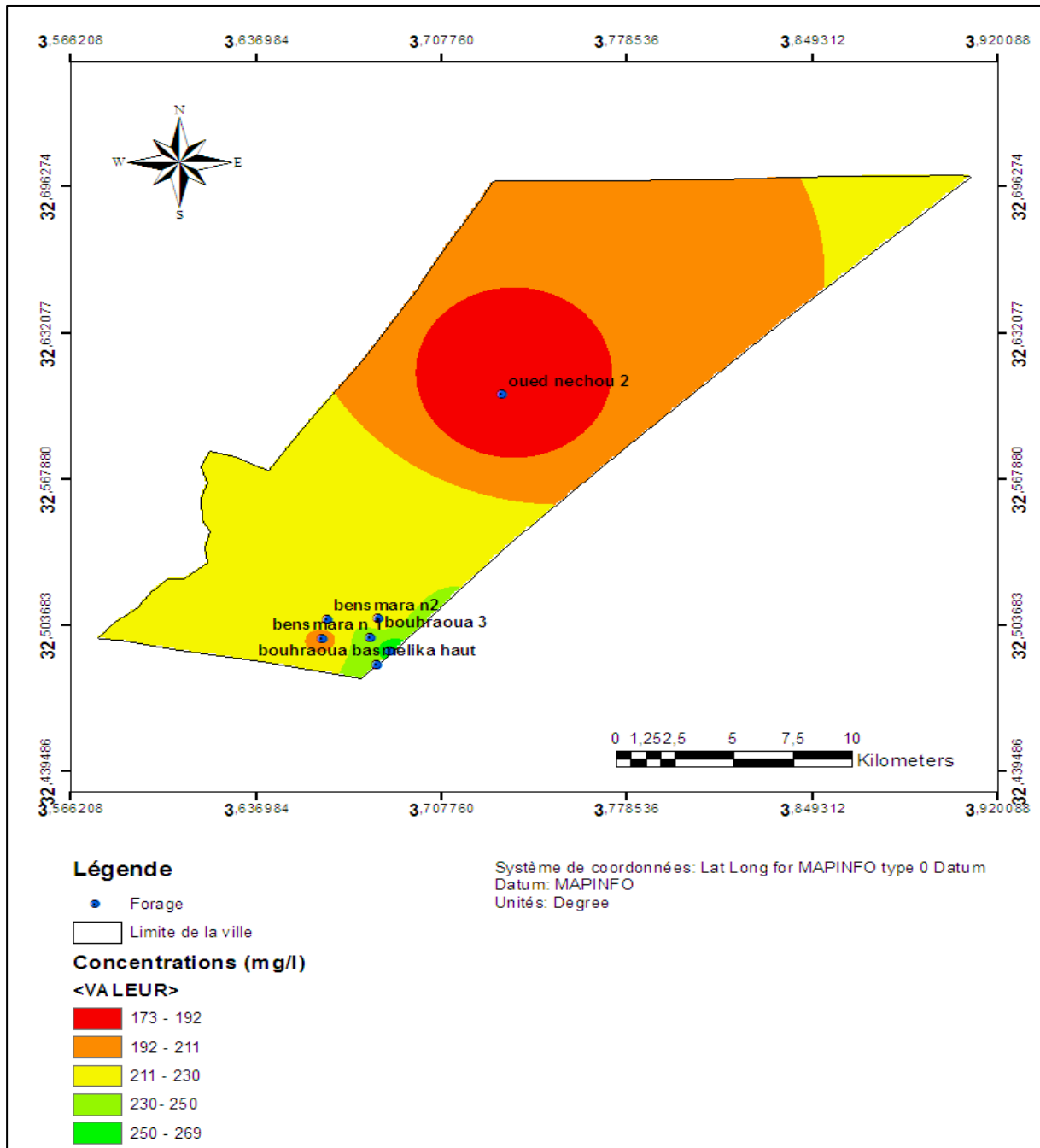


Figure III.6: Répartition spatiale du sodium (Na^{2+}) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

Des fortes teneurs en Sodium est la caractéristique qui distingue les eaux de la région. La forte concentration est observée au niveau de forage (**Melika haut**) et la faible concentration est remarquée au niveau de forage (**Oued Nechou N°2**).

Les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées. (Sari ; 2014)

IV-5. Répartition spatiale de potassium (K^+) :

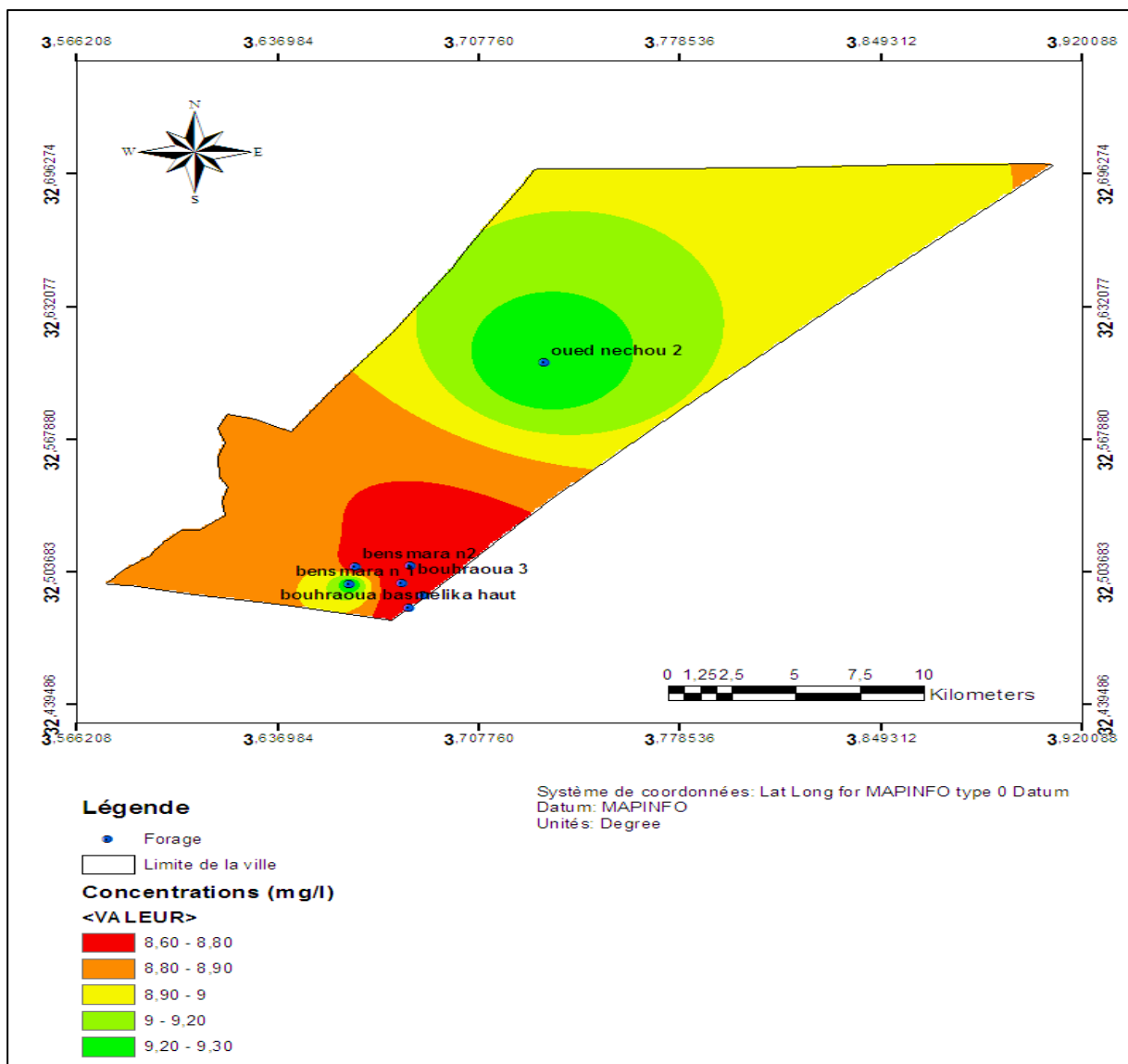


Figure III.7 : Répartition spatiale du Potassium (K^+) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

Les eaux naturelles présentent des concentrations faibles en ion potassium qui ne dépassent généralement pas 10 à 15 mg /L. Ceci est dû à la faible solubilité des minéraux. Bien que les valeurs peuvent être influencées par les activités anthropiques agricoles, minières et industrielles. Les concentrations en K^+ enregistrées sont des valeurs Rapprochées variées 8.6 et 9.30 mg/L.

IV-6. Répartition spatiale de Magnésium (Mg^{2+}) :

Éléments indispensables à la vie, jouant un rôle important dans la respiration, leurs origines sont naturelles (dissolution des roches magnésites basaltes, argiles) ou industrielle (industrie de la potasse de cellulose, brasserie). La dureté manganésienne de l'eau représente ordinairement le tiers de la dureté totale. Le magnésium en excès donne une saveur amère à l'eau. (Sari, 2014)

Aux forages (**Oued Nechou N°2 ; Hadj Messaoud, Bouhraoua bas et Bouhraoua N°3**) la concentration en Magnésium est élevée et peut atteindre les 91mg/l, alors que la valeur minimale est observée au forage (**Ben Smara N°2** (32mg/l). D'une manière générale la concentration en magnésium des eaux souterraines de la région reste acceptable.

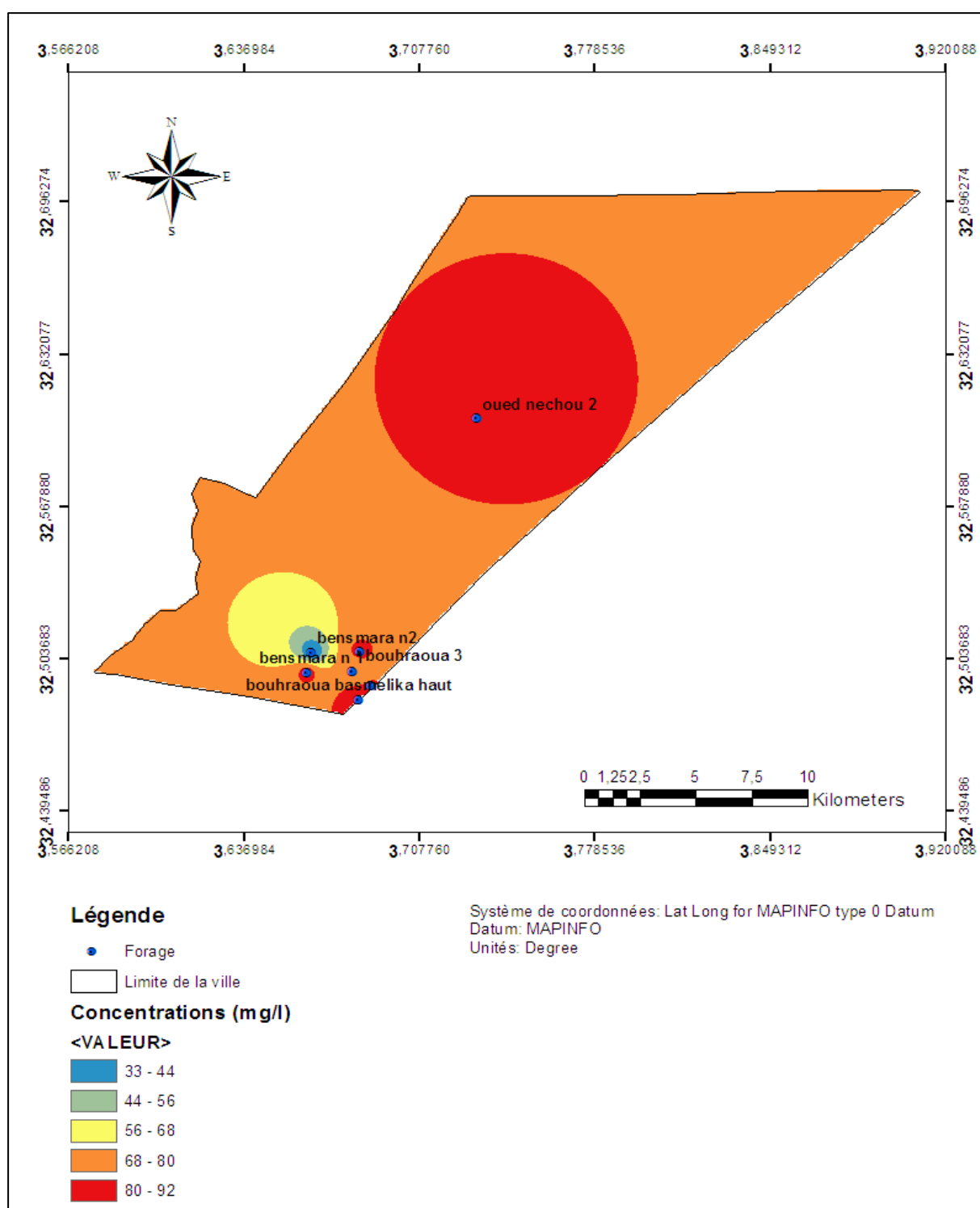


Figure III.8 : Répartition spatiale du Magnésium (Mg^{+2}) de la région de Ghardaïa

(2010-2020)

IV-7. Répartition spatiale de Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium est libéré généralement par l'altération des roches, il provient des aluminosilicates, des silicates, des carbonates (calcite et calcite magnésienne) et les sulfates (gypse).

Le calcium ne peut en aucun cas poser des problèmes de potabilité, le seul inconvénient domestique lié à une dureté élevée est l'entartrage. Par contre, les eaux douces peuvent entraîner des problèmes de corrosion des canalisations. (Sari, 2014)

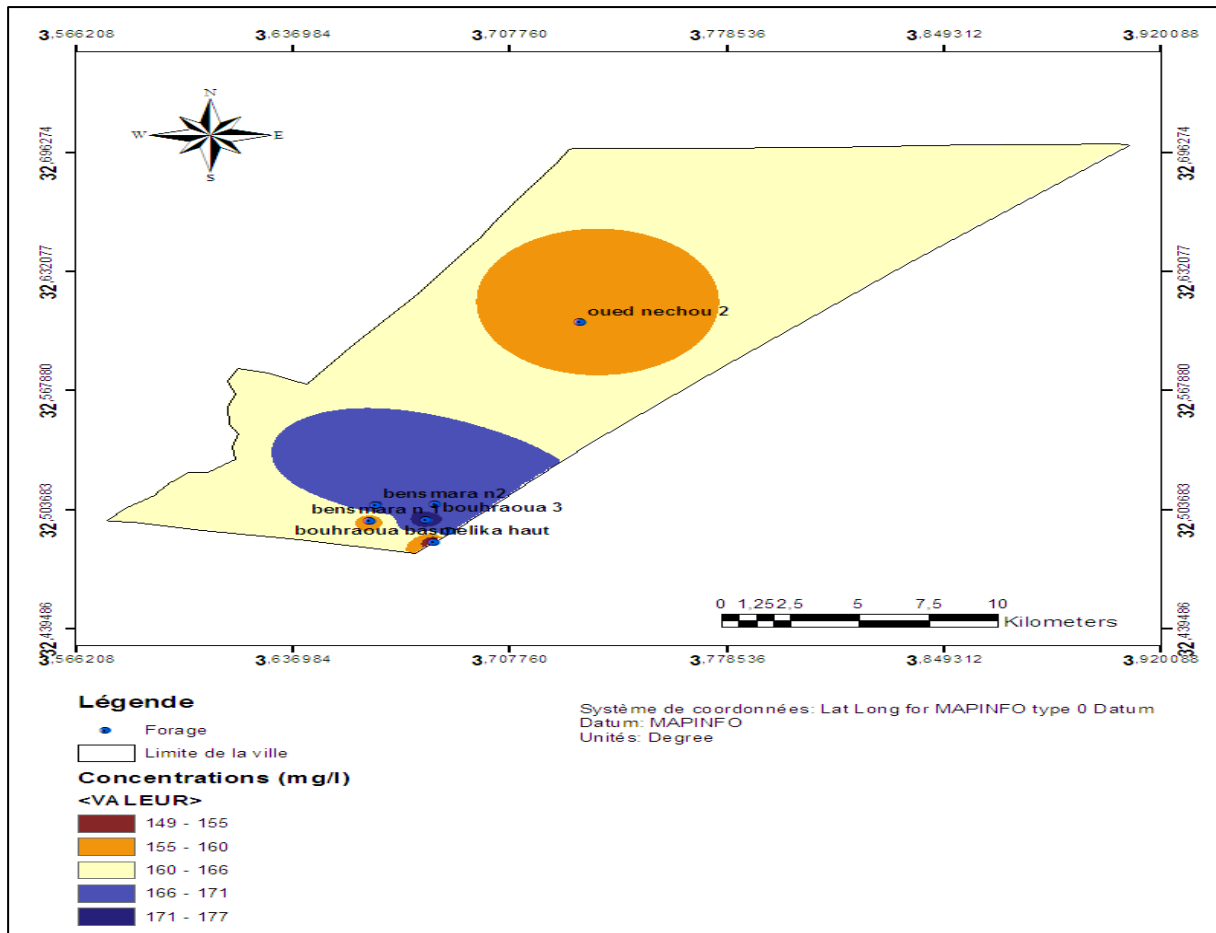


Figure III.9: Répartition spatiale du Calcium (Ca^{+2}) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

Les concentrations en calcium les plus élevés enregistrés au niveau de forage de (Ben Smara N°1).

Autant que la majorité des forages enregistrés des valeurs varie par 165 et 170 mg /l.

IV-8. Répartition spatiale des chlorures :

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium. (Sari, 2014).

Les concentrations des chlorures généralement ne dépassent pas la norme algérienne des eaux potables. La concentration la plus élevée est observée au niveau des forages (**Ben Smara N°1** et **Melika haut**), et la concentration faible est observée au niveau du forage (**Oued Nechou N°2**).

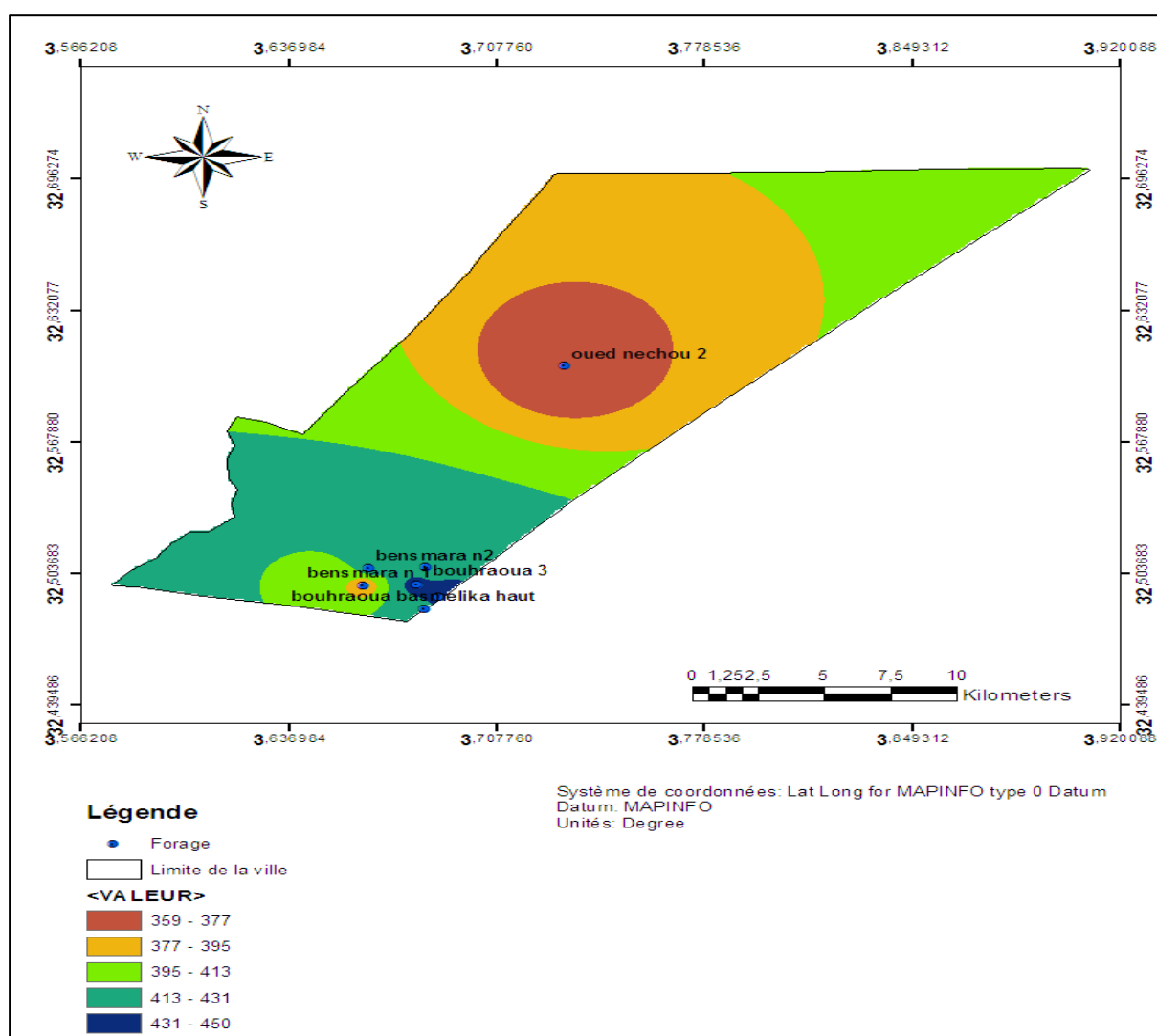


Figure III.10 : Répartition spatiale des chlorures (Cl⁻) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

IV-9. Répartition spatiale des sulfures (SO_4^-) :

Le soufre est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfures, sulfates et soufre élémentaire). Le soufre se combine avec l'oxygène pour donner l'ion sulfate, présent dans certains minéraux tels que le gypse et la baryte. La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre. (Peck et Smith ; 1970)

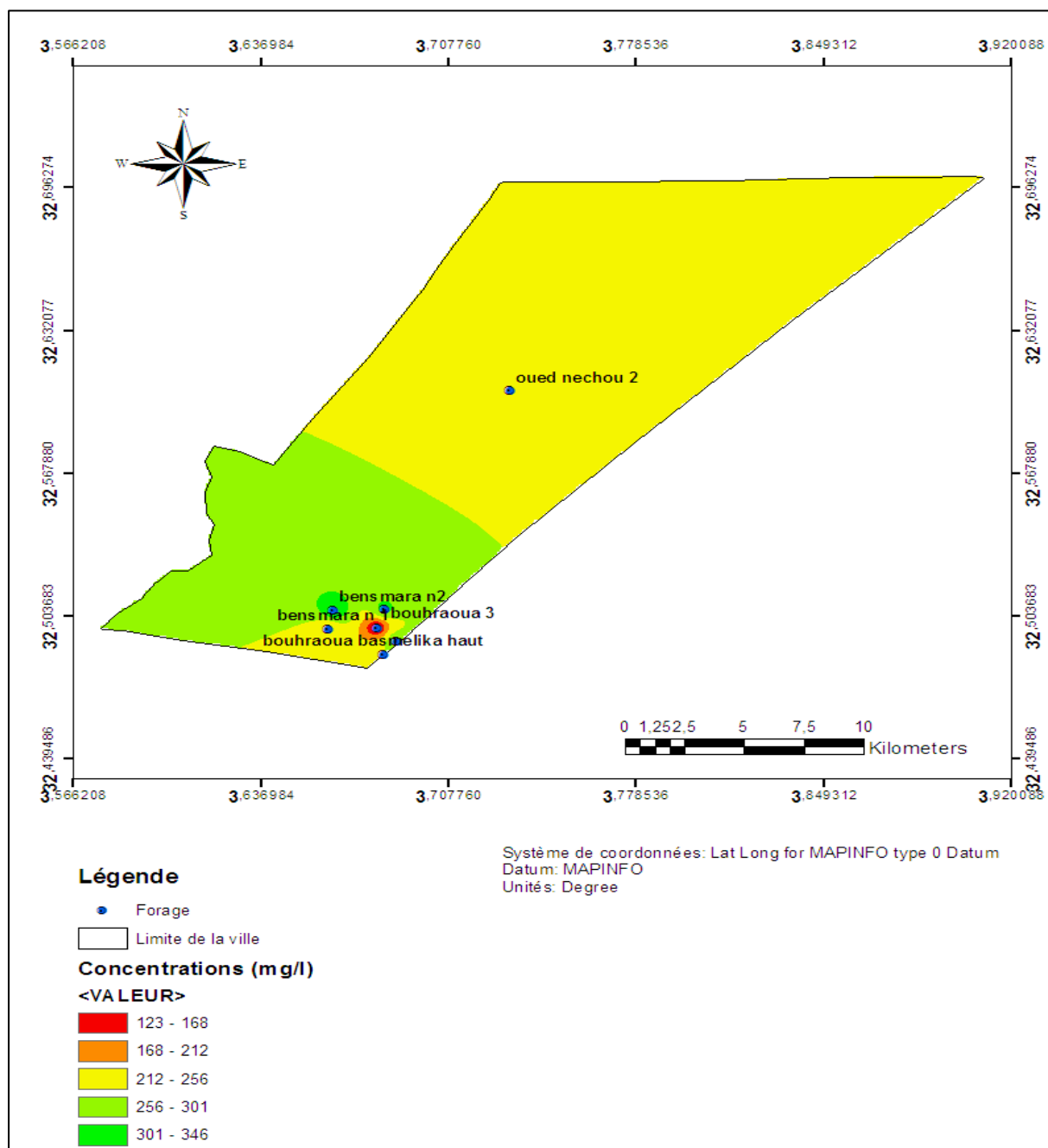


Figure III.11 : Répartition spatiale des sulfures (SO_4^-) de la région de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

Les concentrations, en général, oscillent entre 120 et 350 mg/l. La forte concentration est enregistrée au niveau de forage **Ben Smara N°2** et la faible au niveau de forage **Ben Smara N°1**.

Ben Smara N°1.

IV-10. Répartition spatiale des bicarbonates (HCO_3^-) :

L'ion Bicarbonate est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action combinée du CO_2 de l'atmosphère et des sols sur les minéraux silicatés et de la dissolution des minéraux carbonatés. (Sari, 2014)

On remarque une faible concentration de bicarbonate au milieu vert le sud de la région de Ghardaïa.

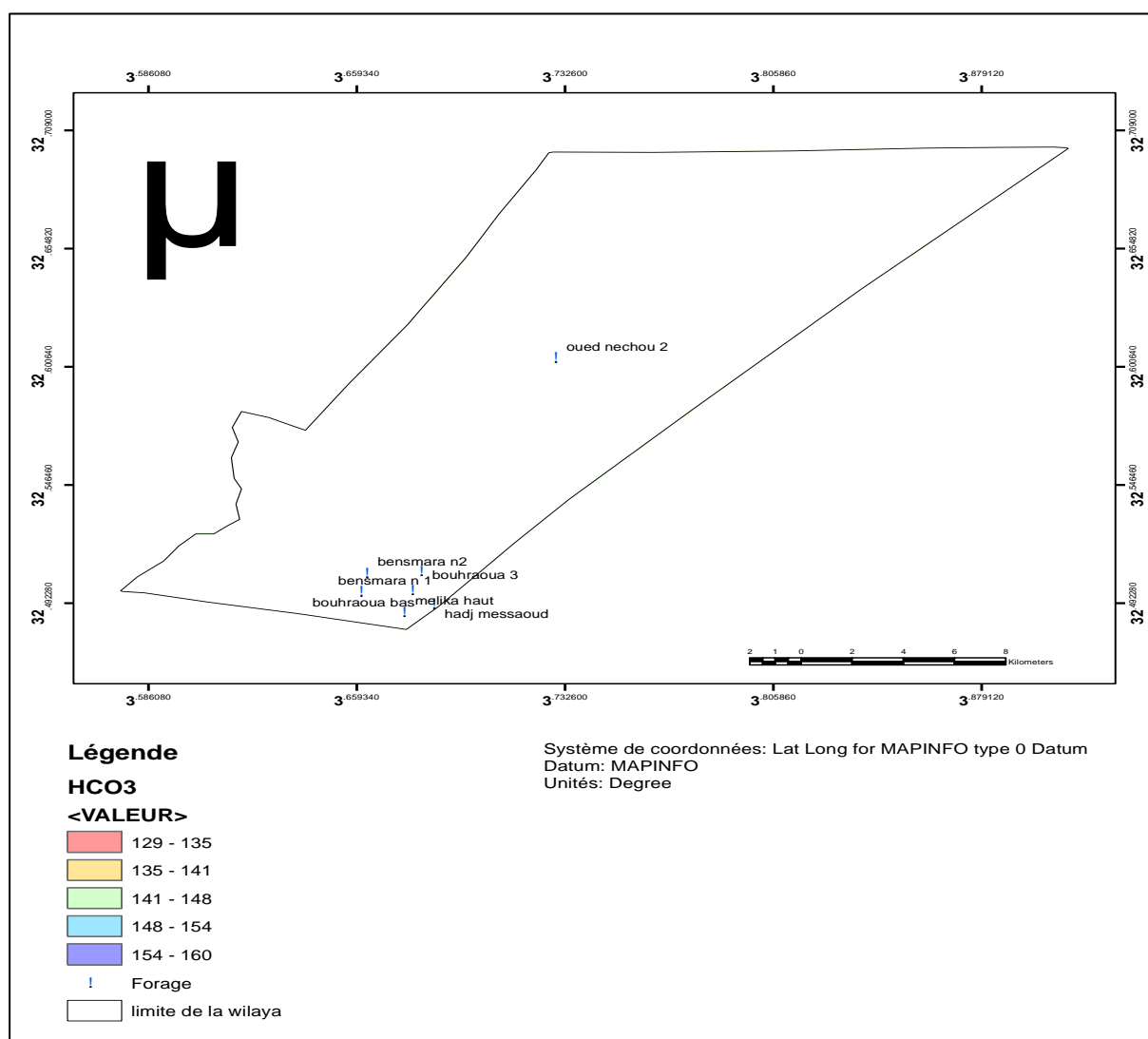


Figure III.12 : Répartition spatiale des bicarbonates (HCO_3^-) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

IV-11. Répartition spatiale des Nitrates (NO_3^-) :

Les nitrates (NO_3^-) constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont abondamment répandus dans le sol, dans la plupart des eaux et des plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de surface.

(Badreddine Rahmani ; 2016).

Les sources d'azote peuvent être :

- La matière organique du sol par la minéralisation ;
- Les amendements organiques comme le fumier et les autres déchets ;
- Les engrais azotés.

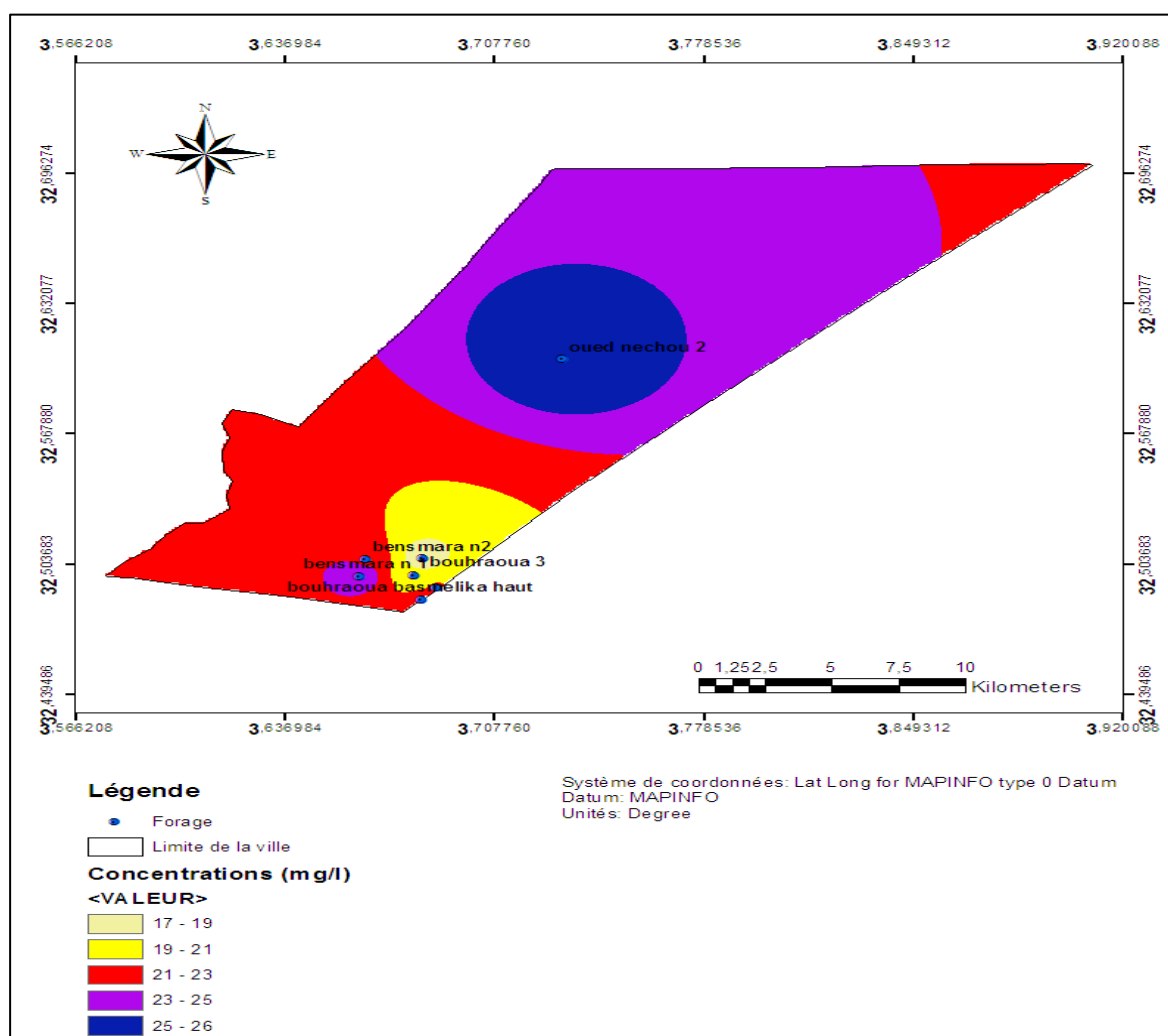


Figure III.13 : Répartition spatiale des Nitrates (NO_3^-) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

IV-12. Répartition spatiale d'ammonium (NH₄⁺) :

L'ammonium dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. L'ammonium provient de la réaction de minéraux contenant du fer avec des nitrates. C'est donc un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrie.

La majorité des forages est des faibles concentrations, en peut dire pour ces valeurs sont négligeables.

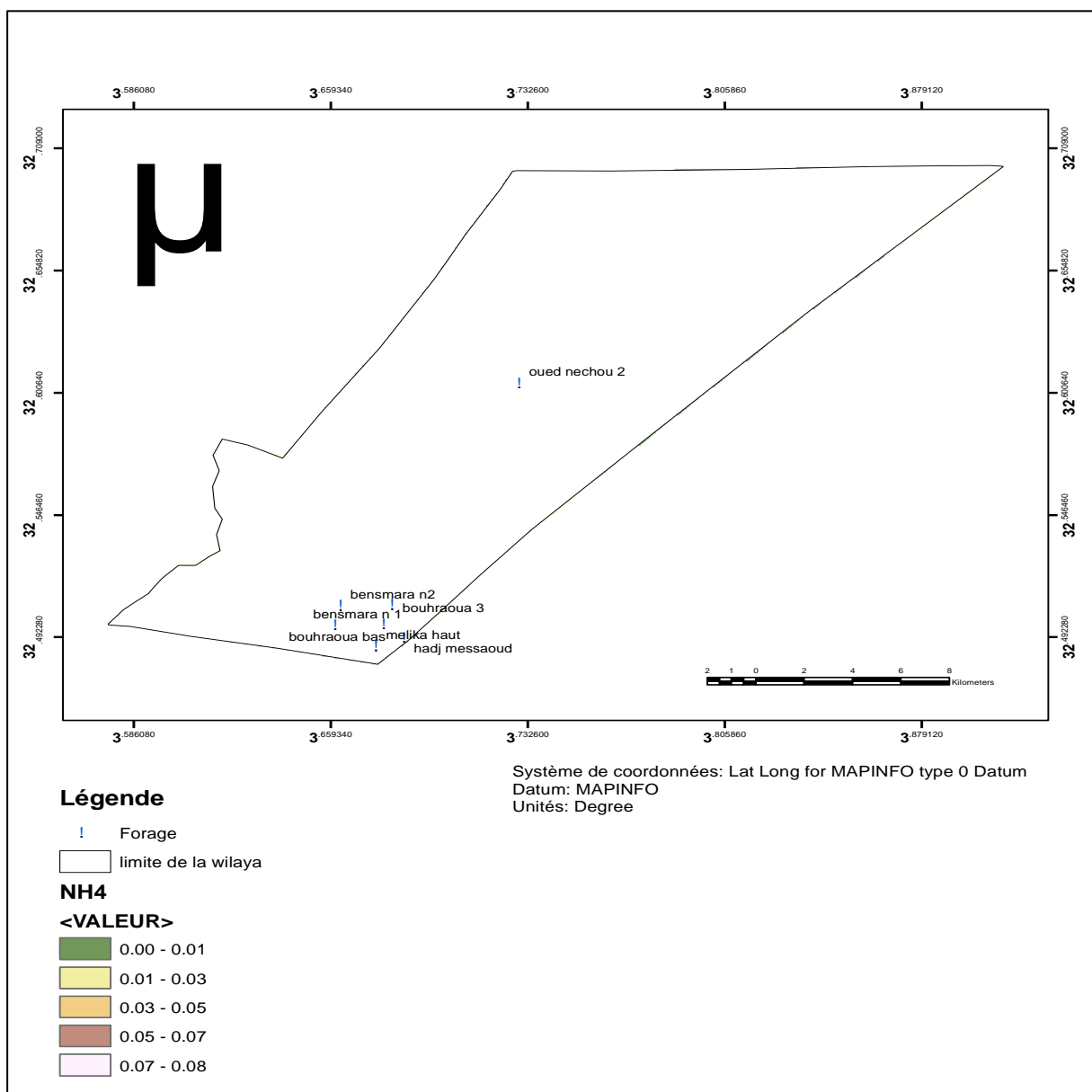


Figure III.14 : Répartition spatiale de l'ammonium (NH₄⁺) de la région de Ghardaïa (2010 – 2020).

V. Qualité des eaux :

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes : les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate, fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,). Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine. (Sari, 2014).

V-1. Norme Algérienne de potabilité des eaux :

Tableau N°8 : Norme Algérienne de potabilité des eaux.

Paramètres	Norme
T (°C)	25
Ph	8.5
Conductivité électrique (µS/Cm)	2800
Ca⁺² (mg /l)	200
Na⁺² (mg /l)	200
K⁺ (mg /l)	20
Mg⁺² (mg /l)	150
Cl⁻ (mg /l)	500
So₄⁻(mg /l)	400
HCO₃⁻(mg /l)	500
NO₃⁻ (mg /l)	50
PO₄⁻ (mg /l)	0.2
NH₄⁺ (mg /l)	0.2

V-2. Paramètres physiques :

- La température de l'eau varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. Les températures de l'eau de la nappe CI sont fortement influencées par la profondeur de l'eau sous le sol. Elle varie entre 20.6 C° et 22.5C°
- Le pH est un élément important pour définir le caractère agressif ou incrustant d'une eau, pour notre échantillon les valeurs du pH comprises entre 7.5 et 7.7.
- La conductivité électrique exprime la salinité de l'eau, elle est mesurée dans notre échantillon des eaux souterraines entre 2100 et 2400 $\mu\text{S}/\text{Cm}$.

D'après les analyses cette eau ne dépasse pas la norme algérienne (température 25°C ;

Le ph 8.5 ; la conductivité électrique 2800 ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) donc cette eau est une eau potable vis-à-vis ces éléments.

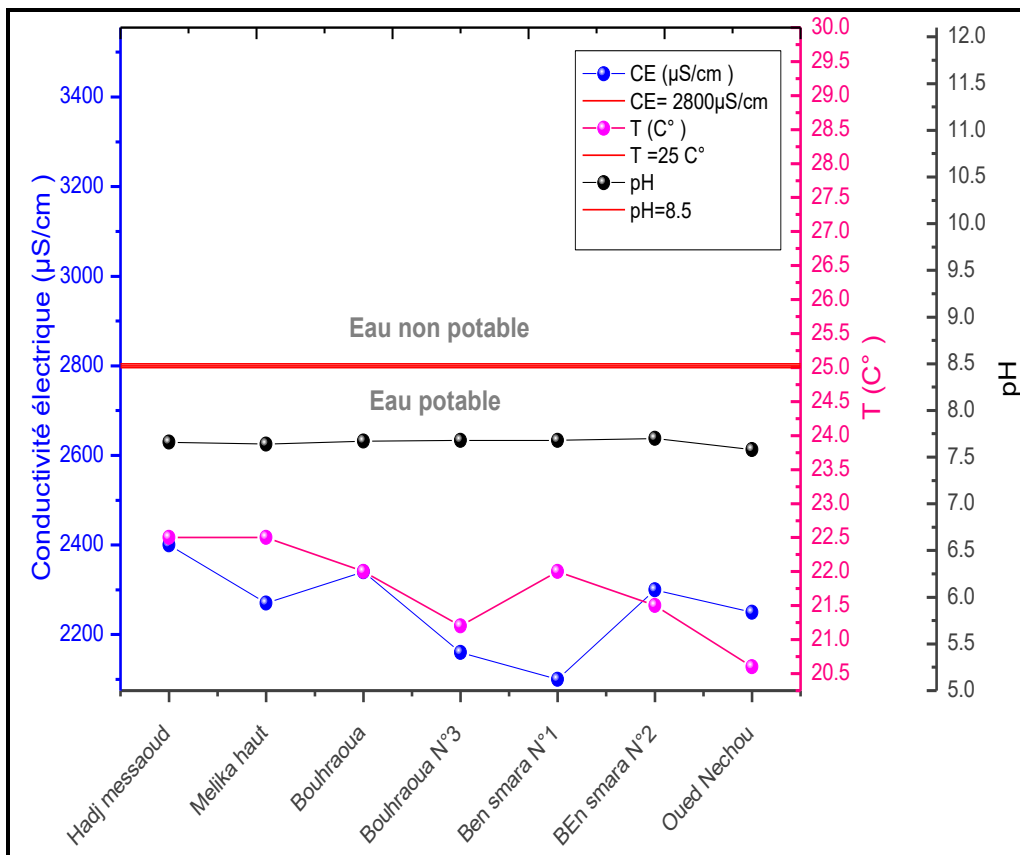


Figure III.15 : Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis des paramètres physiques (2010 – 2020).

V-3. Les cations :

L'évolution dans l'espace pour les eaux souterraines indique la non-potabilité des eaux souterraines en sodium, ces eaux dépassant largement les normes Algériennes de potabilité 200 mg/l et une évolution dans l'espace qui montre une potabilité via le potassium, le calcium et le magnésium pour toutes les eaux de forages analysées.

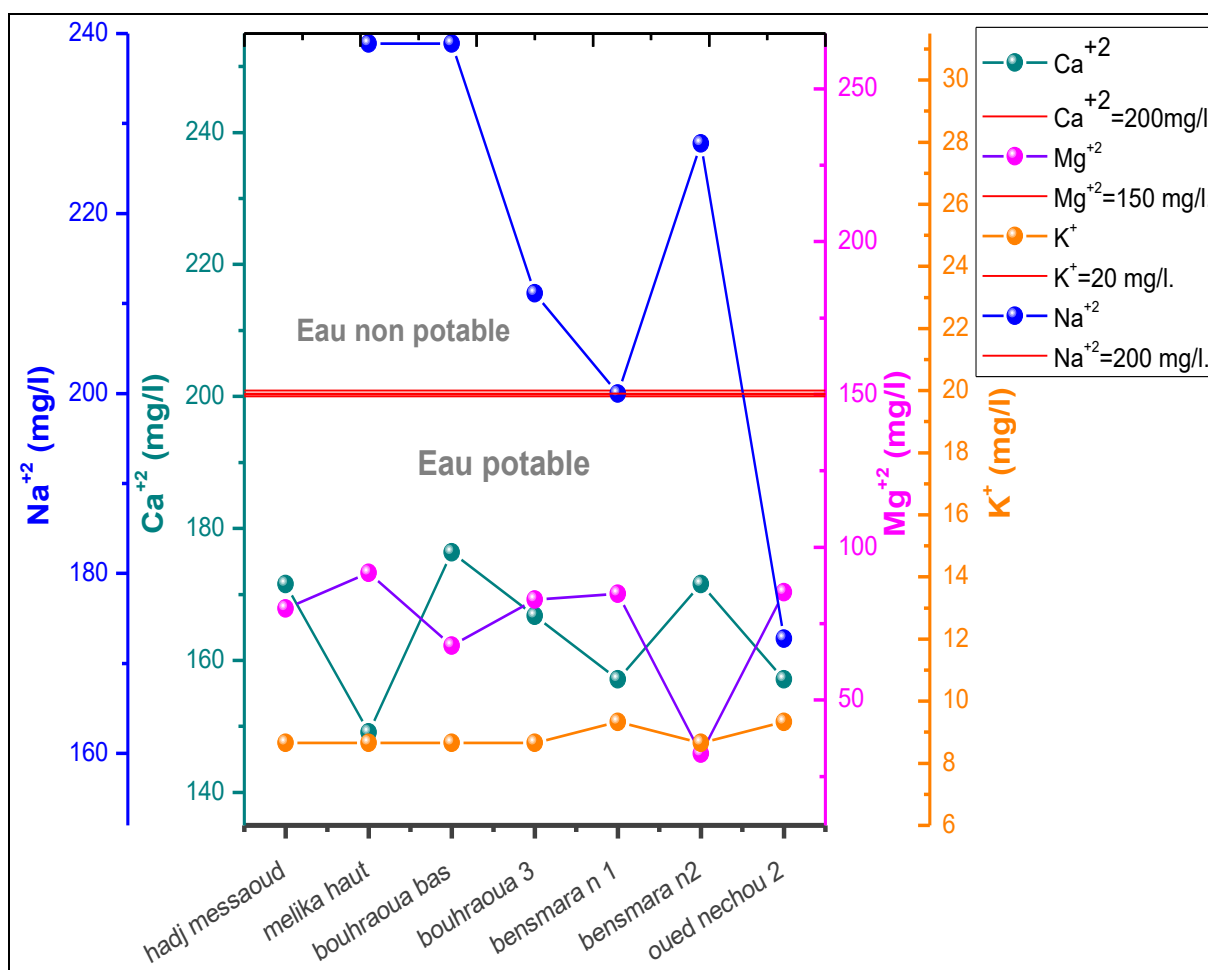


Figure III.16 : Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis les cations

(2010 – 2020).

V-4. Les anions :

Les eaux souterraines montrent des concentrations conformes aux normes Algérienne des eaux potables vis-à-vis les sulfates, les bicarbonates, les chlorures pour tous les forages sans exception.

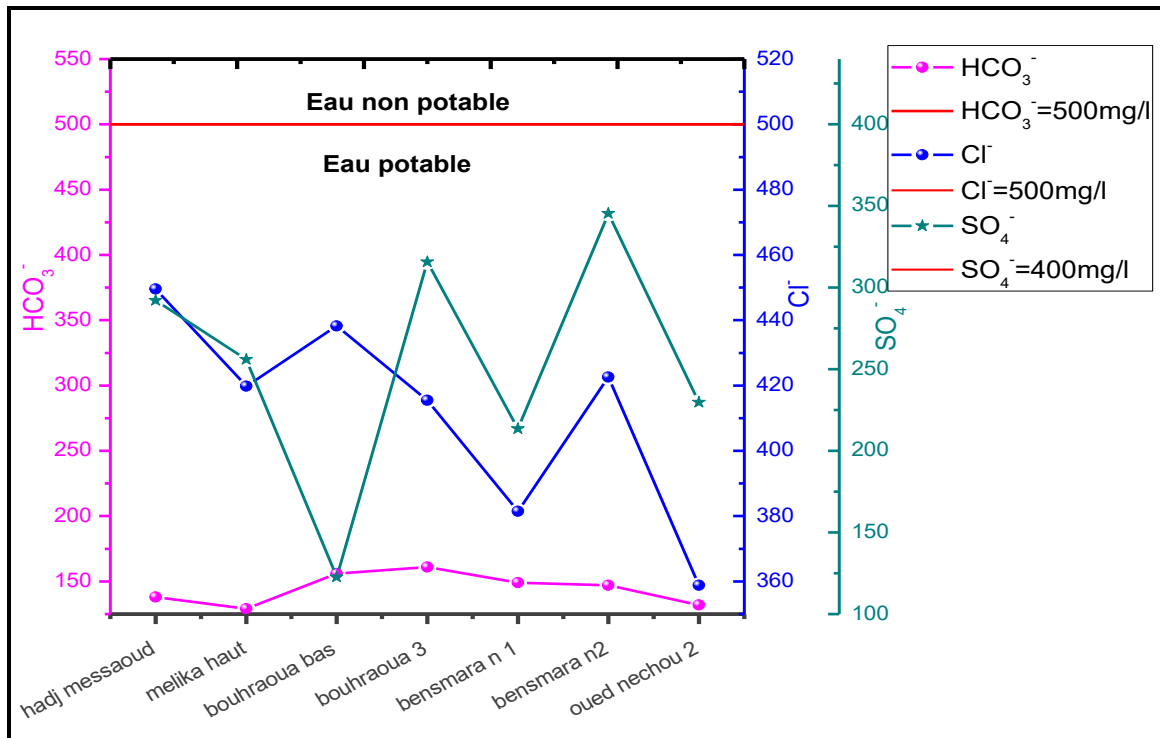


Figure III.17: Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis les anions (2010 – 2020).

V-5. Nutriments :

Des faibles concentrations dans toutes les eaux souterraines. Ces faibles concentrations reflètent une potabilité de ces eaux via les nutriments.

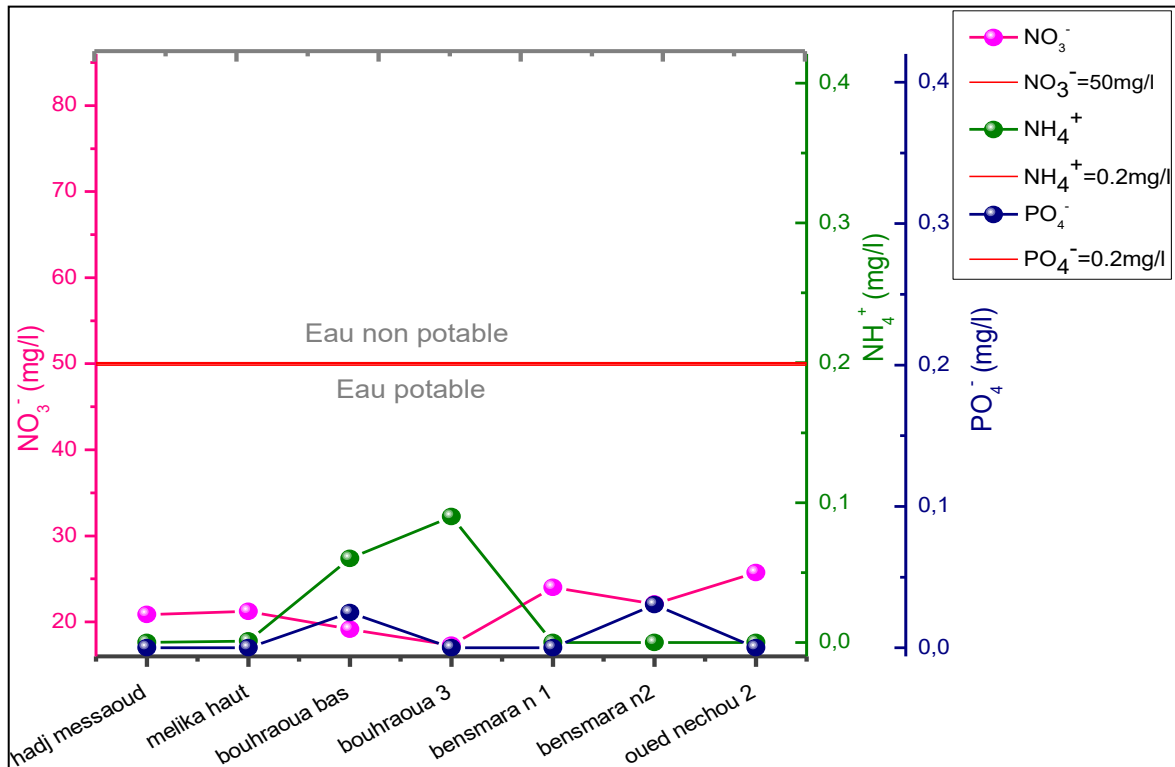


Figure III.18 : Qualité des eaux souterraines de Ghardaïa vis-à-vis les nutriments (2010 – 2020).

VI. Indice de saturation :

L'indice de saturation calculé exprime le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère et peut être considéré comme une mesure du processus de dissolution et/ou précipitation concernant l'interaction eau-roche. Il est calculé en utilisant le PHREEQC qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes. (Diallo Mamadou ; 2015).

Les indices de saturation (IS) de minéraux sont calculés en utilisant les concentrations des principaux ions dans le système. L'indice de saturation d'un minéral est obtenu à partir de l'équation :

$$IS = \log (PAI / KT) \quad (10)$$

Où : PAI est produit de l'activité ionique de l'élément chimique dans la solution.

KT : est la constante d'équilibre de la réaction considérée à la température T (K). Lorsque :

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

IS < 0, l'eau est sous-saturée par rapport au minéral en question.

IS = 0, signifie l'eau est en équilibre avec le minéral.

IS > 0 signifie une solution sursaturée par rapport à la matière minérale en question. Les indices de saturation des minéraux sont très utiles pour l'évaluation dans la mesure par laquelle la chimie de l'eau est contrôlée par l'équilibre des phases solides (Touhari, 2015).

VI-1. Les carbonates :

Les minéraux carbonatés sont sursaturés et tendent à se précipiter sous forme d'Aragonite, de Calcite et surtout de Dolomite

L'indice de saturation des carbonates des eaux souterraines montre que ces eaux sont tous sursaturées.

La dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ montre un indice de saturation plus élevé que ceux de la calcite (CaCO_3) et l'aragonite (CaCO_3) dans toute la section étudiée, surtout au forage de **Bouhraoua** là où on observe les valeurs les plus élevées. La saturation en carbonates dépend principalement de la concentration en bicarbonates (HCO_3).

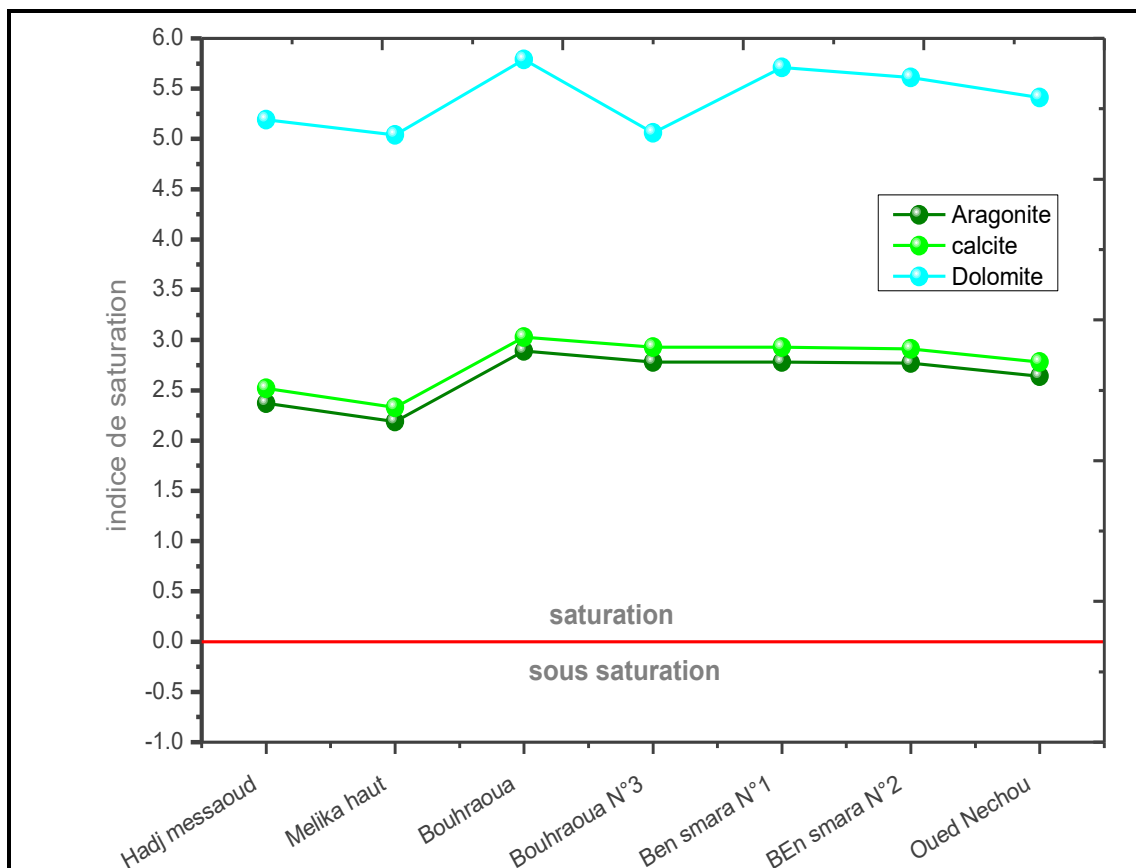


Figure III.19 : indice de saturation des eaux souterraines des carbonates de la région Ghardaïa (2010 – 2020).

VI-2. Les sulfates :

On note que les indices de saturations vis-à-vis du gypse (CaSO_4) $_2$ H $_2$ O et d'anhydrite CaSO_4 , montrent une sursaturation, surtout au niveau du forage **Bouhraoua N°3** et **Ben Smara N°2**, pendant que nous observons une sursaturation bas en forage de **Melika haut**.

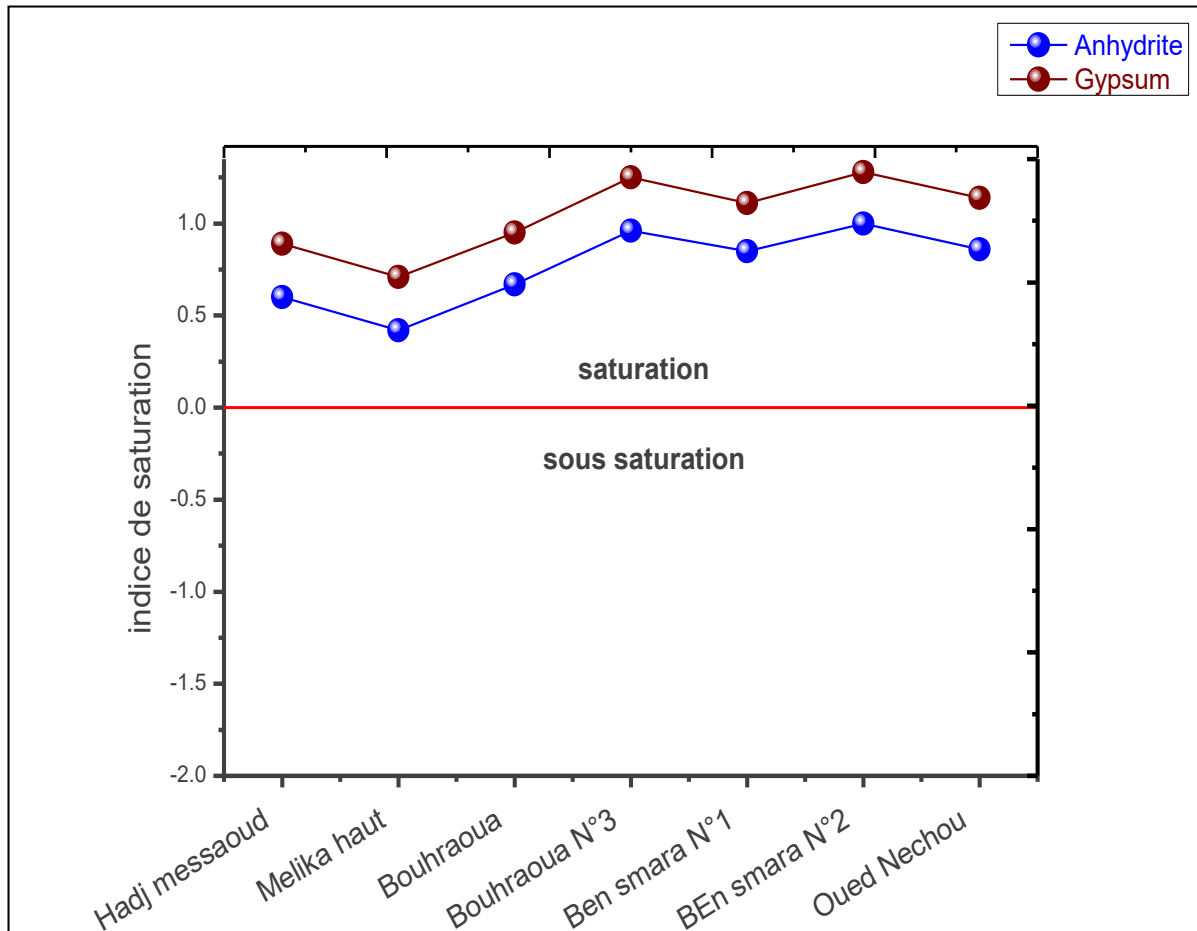


Figure III.20 : indice de saturation des eaux souterraines des sulfates de la région Gharadaïa (2010 – 2020).

VI-3. Les chlorures :

Les indices de saturation en Halite (Na Cl) et Sylvite (K Cl) montrent que les eaux de la région sont sous saturation ce qui provoque sa dissolution en entraînant un enrichissement des eaux en sodium, en chlorures et en Potassium.

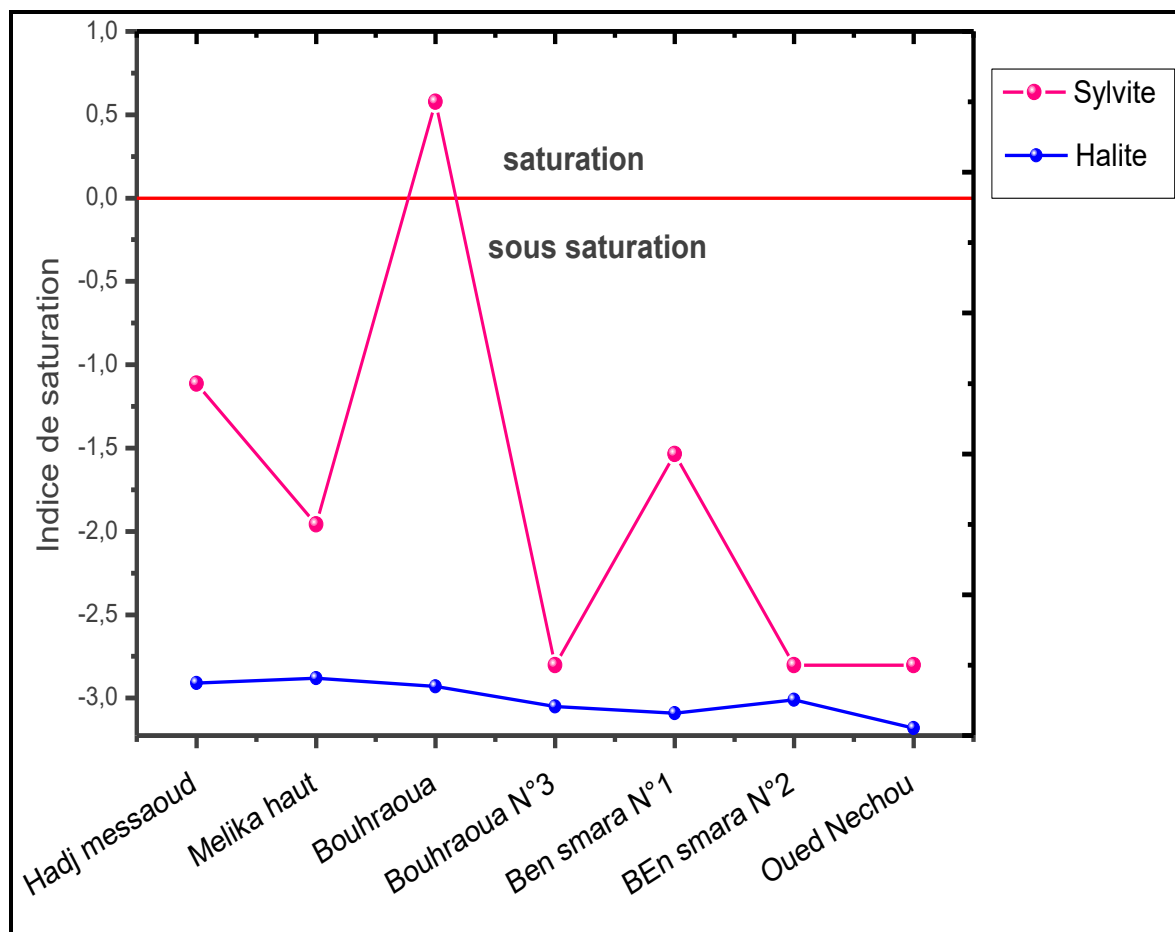


Figure III.21 : indice de saturation des eaux souterraines des chlorures de la région Ghardaïa (2010 – 2020).

VI-4. Les Gaz dissous :

L'indice de saturation en gaz dissous, montre que tous les gaz (O_2 , H_2 , CO_2 , H_2O_g) sont sous saturation surtout l'oxygène. On note que l'hydrogène et le H_2O_g le plus proche de la saturation.

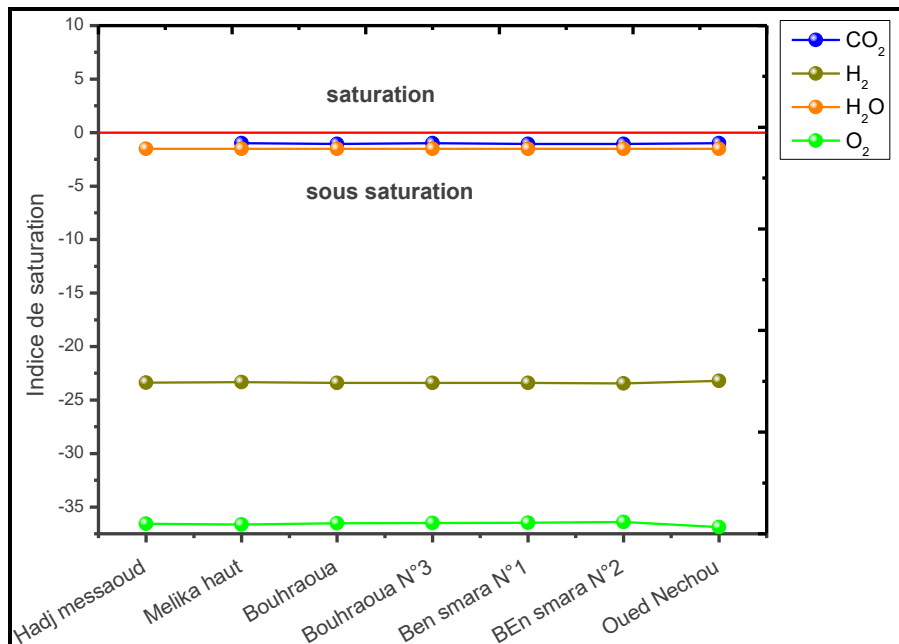


Figure III.22: indice de saturation des eaux souterraines des gaz dissous de la région Ghardaïa (2010 – 2020).

VII. Diagramme de concentration

On essaie de représenter nos analyses avec le logarithme des molalités ($meq. l^{-1}$) en ordonnée et le logarithme du facteur de concentration en abscisse à l'aide des diagrammes de concentration. Le facteur de concentration des eaux (FC) peut être estimé grâce au rapport entre la teneur en Cl^- d'une eau et la valeur minimale de teneur en Cl^- de la base de données. Ceci permettra un classement relatif des échantillons les uns par rapport aux autres (Barbière et al, 1992). L'ion chlorure (Cl^-) ne précipite qu'à des forces ioniques plus élevées donc c'est un bon indicateur de l'état de concentration d'une eau.

L'ordre des éléments classés par molalité n'est pas toujours le même, car les éléments ne se concentrent pas proportionnellement au facteur de concentration. Les teneurs de certains éléments augmentent alors que d'autres diminuent (Nezli et al, 2007).

VII-1. Diagramme de concentration des éléments majeurs :

Le faciès chloruré est dominant dans les eaux souterraines prélevées à Ghardaïa. La forte concentration en Cl^- est due éventuellement à la dissolution de l'halite et du sylvite qui sont marqués par un indice de saturation sursaturé.

La teneur en bicarbonates HCO_3^- diminue plus rapidement que le facteur de concentration. Celle-ci est due à la précipitation des minéraux carbonatés. La concentration de l'alcalinité carbonatée dans les eaux de la région peut provenir de la dissolution des calcaires présents dans la zone d'étude.

L'évolution de l'ion CO_3^{2-} est due essentiellement à la présence de ce dernier dans les composés de l'aragonite CaCO_3 , de la Calcite CaCO_3 et la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ qui ont marquées par un indice de saturation sursaturés.

L'évolution du Na^+ est importante avec le facteur de concentration. Les fortes molalités en sodium peuvent être expliquées par une dissolution simultanée des chlorures et du sodium issu de la même origine ; on parle ici de l'halite qui se trouve sous-saturé.

Le magnésium Mg^{+2} et le calcium Ca^{+2} sont marqués par des molalités faibles, et leur évolution avec le facteur de concentration semble être identique. Ceci peut être expliqué par l'origine commune de ces deux derniers ; on parle ici de la dissolution de la dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, le minéral marqué par le plus grand indice de saturation.

Lorsque les eaux se concentrent, les teneurs en calcium augmentent, l'alcalinité (Alc) augmente puis diminue conformément à la loi de l'alcalinité résiduelle. Tant que les eaux sont sous saturées par rapport à la calcite, Ca^{+2} et Alc peuvent augmenter simultanément. Lorsque l'équilibre avec ce minéral est atteint, la teneur en Ca^{+2} augmente et l'alcalinité diminue car $\text{Ca}^{+2} > \text{Alc}$ (Alcalinité résiduelle calcite positive) (Ouardi.J et al, 2014).

Le potassium, montre des concentrations très faibles. Il est remarqué cependant une importante augmentation à certains échantillons (participation à des précipitations probables de la Sylvite (K Cl) puis un apport de cet élément qui fait augmenter sa concentration), et une diminution pour autres échantillons. Mais d'une manière générale l'évolution du potassium reste très lente que le facteur de concentration (Boubelli et al, 2018).

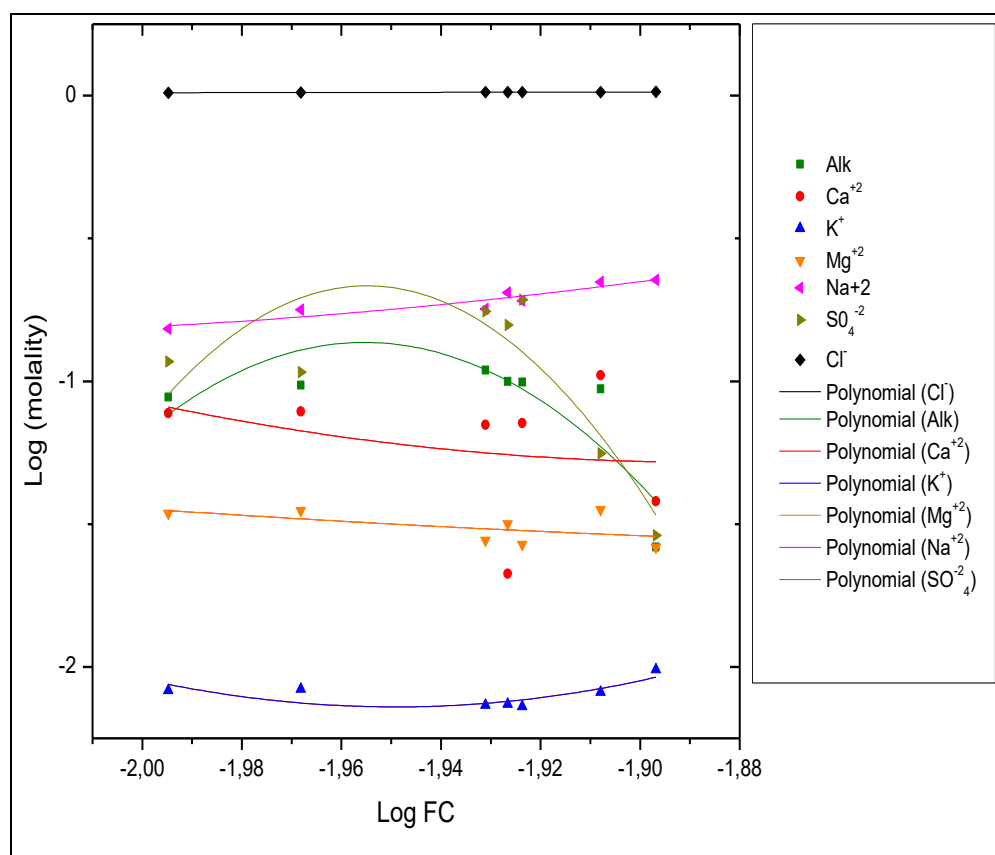


Figure III.23 : Diagramme de concentration des éléments majeurs.

VII-2. Diagramme de concentration d'éléments nutritifs :

Pour les nitrates NO_3^- , on remarque presque une stabilisation en ce qui concerne l'évolution de ce dernier avec le facteur de concentration. La teneur en nitrite NO_2^- diminue légèrement par rapport au facteur de concentration. Ceci peut être expliqué par la transformation de l'ammonium en nitrite puis en nitrate. En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrites puis en nitrates ; ce qui induit une consommation d'oxygène

(Gaujous, 1995).

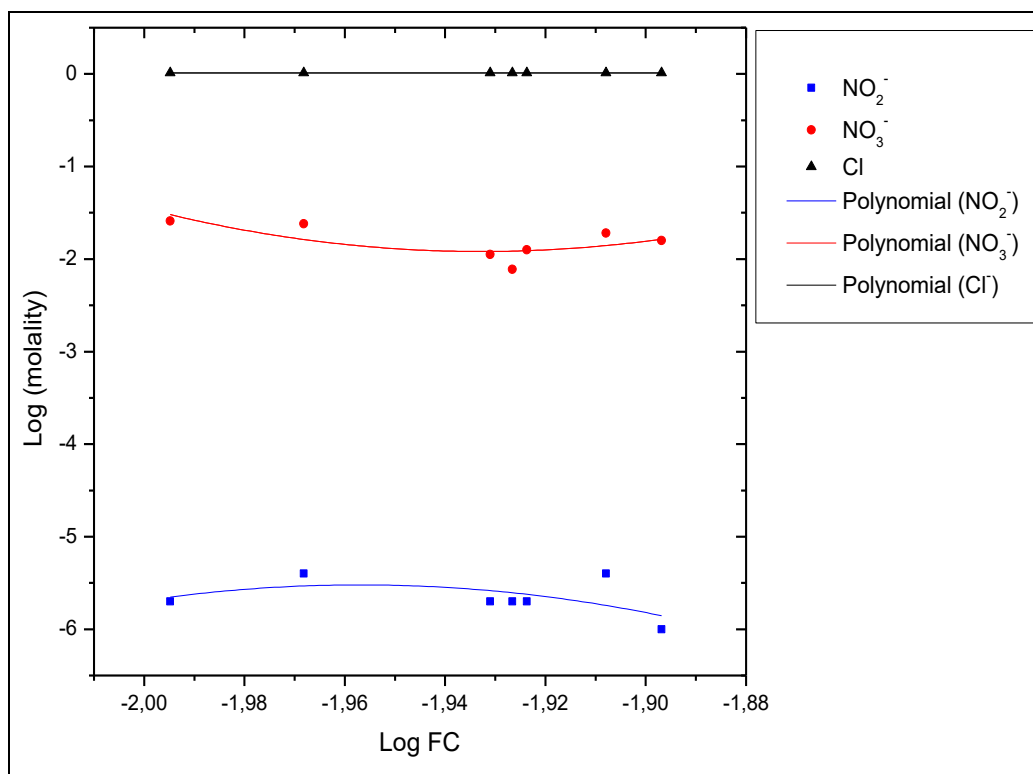


Figure III.24 : Diagramme de concentration des éléments nutritifs.

VIII. Conclusion :

La température des eaux prélevées dans la région étudiée, varie de 20 à 23 °C, elle ne dépasse pas les normes fixées par l'O.M.S (25 °C). Cette variation de température des eaux souterraines peut être fonction de la profondeur de l'aquifère.

Des pH, oscillent entre 7,58 et 7,70 est la chose perceptible dans les eaux de la région.

Les forages (**Bensmara N°2 ; Bouhraoua bas et Bouhraoua N°3**) sont marqués par un pH élevé (7.70).

Alors que le forage (**Oued nechou N°2**) est le forage marqué par un pH faible par rapport aux autres. Le pH des eaux souterraine de ville Ghardaïa sont supérieures à 7 ce qui nous donne une eau basique.

Les eaux souterraines de **ville de Ghardaïa** sont observées par une conductivité électrique très élevée mais quelle ne dépassent pas les normes Algérienne des eaux potables. Des concentrations varient de 2100 et 2400 $\mu\text{S/cm}$, ce qui explique la salinité des eaux de la région. Le forage (**Hadj Messaoud**) est marqué par une conductivité électrique plus élevée 2400 $\mu\text{S/cm}$.

ETUDE HYDROCHIMIQUE ET HYDROGEOCHIMIQUE

Les eaux souterraines de la ville de Ghardaïa montrent qu'elles sont potables via les cations et les anions sauf pour le sodium (Na^+), qui se trouvent en forte concentration. Elles sont aussi potables vis-à-vis les nutriments. Tandis que les eaux souterraines, elles ne sont pas potables via la consommation humaine qu'après un traitement. Les fortes concentrations par certains éléments chimiques sont dues essentiellement à la dissolution de certains minéraux présents dans les formations géologiques et les faibles concentrations sont liées aux précipitations des minéraux. Donc les fortes teneurs et les faibles teneurs des éléments chimiques en eau souterraine sont liées au phénomène de dissolution/précipitation.



**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GÉNÉRALE

La région de Ghardaïa est caractérisée par une hyper aridité due aux paramètres climatiques extrêmes à savoir une faible pluviométrie, un taux assez important d'évaporation, et des températures relativement élevées.

Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année. Elle caractérisé par des précipitations très faibles dans la période (2010-2020), la température maximale dépasse 44°C pendant les mois de juin et juillet

L'évapotranspiration potentielle (ETP), est plus importante, donc la quantité d'eau précipitée Sera vite évaporée. Un déficit (DA) agricole pendant toute l'année, et qui atteindra son maximum au mois de juillet (351.4 mm). Les précipitations, le ruissellement et la réserve facilement utilisable est nulle Pendant les douze mois.

La seule entrave au développement agraire dans la région est la rareté de la denrée hydrique qui s'explique en partie par le positionnement géographique de la région, l'aspect climatique et géologique.

Cependant elle offre plusieurs avantages par rapport à l'agriculture en l'occurrence un fort taux d'ensoleillement qui favorise le développement des cultures à maturation précoce notamment la maraichère.

Les eaux analysées sont globalement chlorurées-sodique. Les eaux chlorurées- sodique sont issues, en général, d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite.

L'analyse de sept échantillons d'eau de la nappe albienne de la région de Ghardaïa montre que les eaux souterraines de Ghardaïa sont potables via les cations et les anions sauf pour les chlorures (Cl⁻), qui se trouvent en forte concentration, ce qui nécessite un traitement avant la distribution à la population.

L'indice de saturation (IS), également été évalué pour interpréter l'hydrogéochimie des eaux souterraines, en utilisant le PHREEQC V.2, qui peut être utilisé via la version gratuite du logiciel Diagrammes. PHREEQC a été utilisé pour calculer les indices de saturation des minéraux de l'eau suivants : calcite (CaCO₃), dolomite CaMg(CO₃)₂, anhydrite (CaSO₄), gypse (CaSO₄ ,2H₂O) et halite (NaCl).



**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUE**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ANRH, 2010** : Note de synthèse sur les premières mesures piézométrique en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe de CI dans la wilaya de Ghardaïa.
2. **Badreddine Rahmani ; Magister ;2016** : Approche hydrogéologique et hydro chimique des eaux souterraines dans une zone semi-aride. Cas de la nappe mio-plio-quadernaire du synclinal de Djelfa (Algérie centre).
3. **Ben Cherif Mohamed amine abd el Kader ; 2013** : l'eau dans l'oasis de Beni Isguen (Ghardaïa). Géomorphologie.
4. **Bensseddik. A ; 2019** : étude hydrogéologique de la région de METLILI. (Ghardaïa)
5. **Chabour.N, Benali. A. Dj ; 1983** : étude hydrogéologique de nappe super posée dans la région d'ouled Djalal (wilaya de Biskra). Mémoire de fin d'étude d'ingénieur d'état en hydrogéologie.
6. **(CHAPMAN. D, KIMSTACH. V; 1996**: Selection of water quality variables. Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed, E & FN Spon, London, 59-126.
7. **Diallo Mamadou ; 2015** : contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources de la région du haut cheliff.
8. **Faber.J ; 1967** : introduction a la géologie de Sahara algérienne et des régions voisine Soc.Nat.Ed. SNED.alger.
9. **Ghazali D., Zaid A ; 2013** : Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes –Maroc), Larhyss Journal, 12, PP : 25- 36. Gomella.
10. **HADDAD. H, GHOUALEM H ; 2013** : caractérisation physico-chimique des eaux du bassin hydrographique côtier algérois.
11. **Khemgani .S, Ben khelifa .H ; 2014** : forage et alimentions en eau potable ;

Cas des forages de bounouira (Ghardaïa).
12. **LABORDE J.P ; 1982** : cartographie automatique des caractéristiques pluviométriques : prise en compte des relations pluviométrie-morphométrie, Houil.
13. **ONM Ghardaïa ; 2019** : Données climatique de la région de Ghardaïa Ed. Office Nationale de Météo, Ghardaïa.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

14. **Peck et al, 1970; Smith, 1970:** Sulphur requirements and metabolism of microorganisms, Proceedings of a symposium on Sulphur in nutrition, D.H. Muth & J.E. Old fields, Ari Publishing Co., Westport, CT.
15. **Sari H., 2014 :** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar (Tlemcen), Mémoire de Master en sciences des aliments, Université Abou-BekrBelkaid Tlemcen.
16. **Siousiou.R ; 2011 :** Approche qualitative de la nappe souterraine de la région de Ghardaïa : cas de palmeraie est de la wilaya de Ghardaïa. Mémoire de fin d'étude, USTHB.
17. **Touhari Fadhila ; 2015 :** Etude de la Qualité des Eaux de la vallée du Haut Cheliff, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique.
18. **Site** **internet :**
Impact de l'ammonium sur la santé et l'environnement ;
<https://www.lenntech.fr/francais/ammonium-environnement.htm#ixzz6xC6b8U7>
(Aquaportail.com) : <https://www.aquaportail.com/definition-4407-bilan-hydrique.html>