



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 هندسة الطرائق

Département des Sciences et Technologie

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Génie des Procédés*

Spécialité : Génie chimique

Thème

**Etude de qualité des eaux de consommation de la région de
Ghardaïa**

Par

ZOUIDJA Hadjer

HEMAZA Marwa

Devant le jury composé de:

BOUAMER Kheira	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
RAACHE Imane	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur
BENCHEIKH Salah Eddine	MCB	Univ. Ghardaïa	Encadreur
BOUTELLI Mohammed Hicham	MAA	Univ. Ghardaïa	Co-encadreur

Année universitaire 2021/2022

REMERCIEMENT

Au terme de ce modeste travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et Nos vifs remerciements tout d'abord :

ALLAH le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage Et la volonté D'étudier, et la force de réaliser ce travail.

Notre Encadreur : Dr.BENCHEIKH Salah Eddine, pour ses orientations, ses précieux conseils et sa contribution dans L'élaboration de ce travail.

Dr.BOUTELLI Mohammed Hicham, notre co-encadreur, pour son aide précieuse et pour le temps qu'il nous a consacré.

Dr.BOUAMER Kheira , Dr.RAACHE Imane les membres du jury qui nous font le grand honneur d'évaluer ce travail.

Nous tenons également à remercier :

Mr.CHOUIREB Makhlof et toute l'équipe de laboratoire de l'ADE, unité de Ghardaïa pour leur accueil et leur soutien au cours du stage pratique.

Mr.BOUBLI Salim ; Mr.GOUAREH Abderrahman ; Mr. ACHOUR Mansour.

Et Tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Dédicace

*À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse,
leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,*

À mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

*À mes chères : sœurs et les femmes de mes frères pour leurs encouragements
permanents, et leur soutien moral,*

*À toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours
universitaire,*

À mon binôme Marwa.

Merci d'être toujours là pour moi.

Hadjer

Dédicace

Tout d'abord, louange à « Allah » qui nous a guidés sur la bonne voie tout au long de ce travail et qui nous a inspiré les bons pas et les bons réflexes, sans sa miséricorde ce travail n'aurait pas abouti.

À ma très chère mère,

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'Amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu m'as soutenu et de m'encourager durant toutes les années de mes études. Qu'Allah te protéger et te donner la santé, le bonheur et longue vie.

À mon très cher père,

M'avoir soutenu moralement et matériellement jusqu'à ce jour, pour leur amour, leurs encouragements. Que ce travail, soit pour toi. Qu'Allah le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur et te protège

À mon sœur et mes frères, à toute ma famille, et mes amis, à mon binôme Hadjer, et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible. Sans oublier tous

les professeurs que ce soit du Primaire, du moyen, du secondaire ou de L'enseignement supérieur je vous dis merci

Marwa

RESUME :

Afin d'évaluer la qualité des eaux destinées à la consommation humaine dans la région de Ghardaïa, 28 points d'eau ont été échantillonnés à partir des forages au niveau des différentes communes de la région d'étude durant le mois de décembre 2021. Une analyse physico-chimique et bactériologie a été réalisé sur ces échantillons.

Les résultats obtenus, montrent que : Les paramètres physique à savoir le potentiel d'hydrogène et la turbidité sont conformes aux normes de l'OMS tandis que le TDS et la conductivité électrique sont caractérisées par une concentration très élevée dans les eaux. Les résultats d'analyses chimiques montrent qu'il y a des paramètres caractérisés par une faible concentration tels que le calcium ; le magnésium et les bicarbonates, et par des concentrations qui dépassent les valeurs guide de l'OMS tel que Le potassium ; le sodium ; Les chlorures et les sulfates. L'analyse bactériologique des eaux n'a révélé aucune contamination bactériologique dans la majorité des échantillons.

L'étude hydrochimie a démontré que les eaux appartiennent à deux faciès chimiques dominantes : le faciès chloruré calcique et le sulfaté calcique. Le classement de l'indice de la qualité des eaux souterraines (IQE) dans la région Ghardaïa montre que la totalité des eaux étudiées se situent dans la catégorie d'excellente qualité pour la consommation humaine. Tandis que, le classement à la base de la grille simplifiée, a révélé qu'il y a 16 points d'eaux sont situés dans la catégorie de la qualité moyenne, et 11 points dans la catégorie de la bonne qualité et un seul point dans celle de la qualité excellente.

Mots clés : Eau de consommation ; analyse physico-chimique ; classification ; Indices de qualité ; Ghardaïa.

ملخص :

من أجل تقييم جودة المياه المعدة للاستهلاك البشري في منطقة غرداية، تم أخذ عينات من 28 نقطة مياه من الآبار في مختلف بلديات منطقة الدراسة خلال شهر ديسمبر 2021. تم إجراء التحليل الفيزيائي والكيميائي والبكتريولوجي لهذه العينات.

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن: الخصائص الفيزيائية، أي الجهد الهيدروجيني (pH) والعمارة، تتوافق مع معايير منظمة الصحة العالمية، بينما تتميز المواد الصلبة الذائبة والناقلية الكهربائية بتركيز عالٍ جدًا في الماء.

تظهر نتائج التحليلات الكيميائية أن هناك خصائص تتميز بتركيز منخفض مثل الكالسيوم؛ المغنيسيوم والبيكربونات وتركيزات تتجاوز القيم المنصوح بها من طرف منظمة الصحة العالمية مثل البوتاسيوم؛ صوديوم؛ الكلوريدات والكبريتات. أظهر التحليل البكتريولوجي للمياه عدم وجود تلوث جرثومي في غالبية العينات.

أظهرت الدراسة الهيدروكيميائية أن المياه تنتمي إلى وجهتين كيميائيتين مهيمنتين: سحنات كلوريد الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم. يوضح تصنيف مؤشر جودة المياه الجوفية (IQE) في منطقة غرداية أن جميع المياه المدروسة في فئة الجودة الممتازة للاستهلاك البشري. بينما أظهر التصنيف المبني على الشبكة المبسطة أن هناك 16 نقطة مياه تقع في فئة متوسط الجودة، و 11 نقطة في فئة الجودة الجيدة ونقطة واحدة فقط في فئة الجودة الممتازة.

كلمات مفتاحية: ماء الاستهلاك، بئر، تحليل فيزيائي-كيميائي، معايير الجودة، التصنيف، غرداية.

ABSTRACT :

In order to assess the quality of water intended for human consumption in the Ghardaïa region, 28 water points were sampled from boreholes in the various municipalities of the study region during the month of December 2021. Physico-chemical and bacteriological analysis was carried out on these samples.

The results obtained show that: The physical parameters, namely the hydrogen potential and the turbidity, comply with WHO standards, while the TDS and the electrical conductivity are characterized by a very high concentration in the water. The results of chemical analysis show that there are parameters characterized by a low concentration such as calcium; magnesium and bicarbonates, and by concentrations that exceed WHO guideline values such as potassium; sodium; Chlorides and sulfates. The bacteriological analysis of the waters revealed no bacteriological contamination in the majority of the samples.

The hydrochemistry study demonstrated that the waters belong to two dominant chemical facies: the calcium chloride facies and the calcium sulphate. The classification of the groundwater quality index (IQE) in the Ghardaïa region shows that all the waters studied are in the category of excellent quality for human consumption. While, the classification based on the simplified grid, revealed that there are 16 water points are located in the category of average quality, and 11 points in the category of good quality and only one point in that of excellent quality.

Keywords: Drinking water; physico-chemical analysis; classification; Quality indices; Ghardaia.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les propriétés physiques de l'eau	5
Tableau 2: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique.	14
Tableau 3: Classification des eaux en fonction de leur dureté	17
Tableau 4 : Les normes N.A et OMS.....	20
Tableau 5 : Communes et localités de la cuvette de Ghardaïa	23
Tableau 6 : Densité de peuplement par commune	25
Tableau 7: Données climatiques de la région de Ghardaïa, période 2009-2021	26
Tableau 8 : Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation	30
Tableau 9: Evolution du volume d'exploitation des eaux du continental intercalaire par usage	32
Tableau 10 : Modes de conservation des échantillons d'eaux potables	43
Tableau 11: Les points de prélèvement et les coordonnées des puits.....	44
Tableau 12 : les paramètres d'analyse d'eau.	45
Tableau 13 : Avantages et inconvénients de la technique par filtration et la méthode en tubes	59
Tableau 14 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines...	65
Tableau 15 : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE	66
Tableau 16 : Caractéristiques statistiques des paramètres physico-chimiques.....	75

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Structure de l'eau.	3
Figure 2: Cycle de l'eau.	7
Figure 3 : Echelle logarithmique de pH.	13
Figure 4 : Carto graphie de la Wilaya de Ghardaïa.	23
Figure 5 : La population de la wilaya de Ghardaïa.	24
Figure 6 : Les températures moyennes mensuelles.	27
Figure 7 : Les vents moyens mensuels.	28
Figure 8 : Les pluviométries moyennes mensuelles.	28
Figure 9 : Humidité moyenne mensuelle.	29
Figure 10 : Etat des forages du CI inventoriés.	30
Figure 11 : Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa.	31
Figure 12 : Inventaire des forages d'eau au Nord et au sud la région de Ghardaïa.	31
Figure 13 : Evolution du volume d'exploitation des eaux du continental intercalaire par usage.	32
Figure 14 : Carte piézométrique de la nappe du continental intercontinental dans la région de Ghardaïa (année 2010).	33
Figure 15 : Carte piézométrique du continental intercalaire dans la région de Ghardaïa.	34
Figure 16 : Carte de l'évolution piézométrique de a nappe du continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (période 2010-2018).	35
Figure 17 : pH mètre (HACH, AD 1000)	46
Figure 18 : Conductimètre (LF 538).	46
Figure 19 : Turbidimètre (HACH, TL2300).	47
Figure 20 : Spectrophotomètre UV- Visible (HACH, ODYSSEY).	48
Figure 21 : Spectrophotomètre à flamme (JENWAY, PFP7).	50
Figure 22 : Spectrophotomètre UV- Visible (HACH, DR 6000).	54
Figure 23 : Diagramme de Stabler.	67
Figure 24 : Diagramme de piper.	68
Figure 25 : Diagramme de Schoeller.	69
Figure 26 : Carte de répartition spatiale communale des points d'eaux étudiés.	73
Figure 27 : Pourcentages de la balance ionique des eaux de la région de Ghardaïa.	74
Figure 28 : Variations des paramètres physiques comparés aux normes d'OMS.	76
Figure 29 : Variations des cations en comparaison avec les normes d'OMS.	78
Figure 30 : Variations des anions en comparaison avec les directives d'OMS.	80
Figure 31 : Variations des paramètres indésirables et de pollution comparés avec les normes d'OMS.	82
Figure 32 : Diagramme de STABLER caractérisant les faciès dominants pour l'ensemble des échantillons étudiés dans la région de Ghardaïa.	84
Figure 33 : Faciès chimique des eaux de la région de Ghardaïa selon le diagramme de Piper	85
Figure 34 : Faciès géochimiques de l'eau par les rapports $Mg/Ca : SO_4/Cl$	86
Figure 35 : Pourcentages des faciès géochimiques des eaux souterraines de la région de Ghardaïa.	87

Figure 36 : Projection des résultats des analyses des eaux souterraines sur le diagramme de SCHOELLER.	88
Figure 37 : Projection des résultats des analyses des eaux souterraines sur le diagramme de SCHOELLER(partie2).....	89
Figure 38 : Pourcentages de l'indice d'échange de base de la région de Ghardaïa.	90
Figure 39 : Carte de répartition spatiale des catégories IQE.	91
Figure 40 : Topographie de région superposée sur la carte d'équirépartition d'IQE.	92
Figure 41 : Carte de Grille simplifiée.	93
Figure 42 : Pourcentages des catégories à la base de la grille simplifiée.	94

Liste des abréviations

OMS	Organisation mondiale de la santé.
NA	Normes algériennes.
ANRH	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
ADE	l'Algérienne Des Eaux.
DRE	Direction des Ressources en Eau.
DSA	Direction des Services Agricole.
AEP	L'alimentation en eau potable.
C.I	Nappe du continental intercalaire.
C.T	Nappe du complexe terminal.
SASS	Système Aquifère du Sahara septentrional.
SIG	Systèmes d'Informations Géographiques.
VG	valeurs guides.
NTU	Néphélométrie turbidity unites.
BI	balance ionique.
i.e.b	Indice d'échange de base.
IQE	Indice de la Qualité de l'Eau
pH	Potentiel d'hydrogène.
TH	Titre hydrométrique.
TAC	Titre Alcalimétrique complet.
TDS	Sels Totaux Dissous.
EDTA	Acide éthylène diamine tétra acétique.
PE	Polyéthylène.
BEA	Bile esculine azoture.
TSA	Tryptonée au soja.

Table des matières

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.

CHAPITRE I : Généralité sur l'eau.

Introduction :	3
I.1.Structure de l'eau :	3
I.1.1.La molécule d'eau :	3
I.2.Composition des eaux naturelles :	4
I.2.1.Matières minérales :	4
I.2.2.Matières organique :	4
I.2.3.Matières dissoutes :	4
I.2.4.Matières colloïdales :	4
I.2.5.Matières en suspension :	5
I.3.Les propriétés de l'eau :	5
I.3.1.les propriétés physiques de l'eau :	5
I.3.2.Propriétés Chimiques :	6
I.3.2.1. Dissociation ionique de l'eau:	6
I.3.2.2.Solubilité des gaz dans l'eau :	6
I.3.2.3. L'oxydo-Réduction :	6
I.3.3.Propriétés biologiques de l'eau :	6
I.4.Cycle de l'eau dans la nature :	7
I.5.Les sources naturelles de l'eau:	8
I.5.1.Eaux de pluie :	8
I.5.2.Eaux de mer :	8
I.5.3.Eaux superficielles :	8
I.5.4.Eaux souterraines :	8
I.6.Pollution des eaux :	8
I.6.1.Définition de la pollution de l'eau :	9
I.6.2.Sources de la pollution:	9
I.6.2.1. Pollution industrielle :	9
I.6.2.2.Pollution urbaine :	9
I.6.2.3. Pollution agricole :	9

I.6.2.4. Pollution atmosphérique :	10
I.6.3. Les principaux polluants:	10
I.6.3.1. Polluants chimiques :	10
I.6.3.2. Polluants physiques :	10
I.6.3.3. Polluants microbiologiques :	11
I.6.4. Effets de la pollution de l'eau sur la santé humaine:	11
I.6.4.1. Calcium et Magnésium :	11
I.6.4.2. Sodium et potassium :	11
I.6.4.3. Sulfates :	11
I.6.4.4. Chlorures :	11
I.6.4.5. Nitrates :	11
I.6.5. Nocivité et effets de la pollution:	11
I.7. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine :	12
I.7.1. Critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine :	12
I.7.1.1. Paramètres organoleptiques :	12
I.7.1.2. Paramètres physiques :	13
I.7.1.3. Paramètres chimiques :	15
I.7.1.4. Paramètres bactériologiques :	18
I.8. Les normes de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine:	19
I.8.1. Normes l'OMS :	19
Conclusion :	21

CHAPITRE II: Présentation de la zone d'étude.

Introduction :	22
II.1. Situation géographique :	22
II.1.1. Limites :	22
II.1.2. Superficie de la Wilaya :	23
II.2. Démographie :	24
II.3. Caractéristiques climatiques :	25
II.3.1. Température :	27
II.3.2. Les vents :	27
II.3.3. Pluviométrie :	28
II.3.4. L'humidité relative:	29
II.4. Situation hydrogéologique :	29

II.4.1.Nappe du continental intercalaire (C.I) :	29
II.4.1.1.L'aquifère du CI dans la région Ghardaïa.	30
II.4.1.2.Inventaire des points d'eau du CI :	30
II.4.1.3.Distribution des forages du CI dans la région de Ghardaïa :	31
II.4.1.4.Exploitation du CI dans la région de Ghardaïa :	32
II.4.1.5.Piézométrie du CI dans la région de Ghardaïa :	32
II.4.2.Nappe du complexe terminal (C.T) :	36
II.5.Situation hydrographie :	36
II.5.1.Oued Metlili :	36
II.5.2.Oued M' Zab :	36
II.5.3.Oued N'ssa	37
II.5.4.Oued Zegrir :	37
Conclusion :	38

DEUXIEME PARTIE : PARTIE PRATIQUE.

CHAPITRE III: Matériel et Méthodes.

Introduction :	40
III.1.Echantillonnage de l'eau :	40
III.2.Mode de prélèvement :	41
III.3.Conservation des échantillons :	42
III.3.1.Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :	42
III.4.Choix des points de prélèvement :	44
III.5. Les paramètres d'analyse d'eau :	45
III.5.1.Analyse physico-chimiques et microbiologiques :	45
III.5.1.1.Mesure de paramètres physiques :	45
III.5.2.Analyse des paramètres chimiques :	48
III.6.3.Analyses bactériologiques :	58
III.7.Evaluation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine :	64
III.7.1.Les indices d'évaluation de qualité des eaux :	64
III.7.1.1.La balance ionique :	64
III.7.1.2.Indice d'échange de base :	64
III.7.1.3.Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux :	65
III.7.1.4.Indice de qualité des eaux IQE :	65
III.7.5.Les faciès chimiques de l'eau :	67

III.7.5.1.Diagramme de Stabler :	67
III.7.5.2.Diagramme de Piper :	67
III.7.5.3.Diagramme de Schoeller-Berkalof :	68
III.7.5.Logiciels de traitement des résultats :	69
III.7.5.1.Logiciel diagramme :	69
III.7.5.2.Logiciel surfer :	69
III.7.5.3.Logiciel Arc gis :	69
Conclusion :	70

CHAPITRE IV: Résultats et discussions.

Introduction :	72
IV.1.Répartition spatiale des forges étudiées :	73
IV.2.Vérification de la fiabilité des résultats d'analyse « La balance ionique » :	74
IV.3.Analyses statistiques des paramètres physico-chimiques :	74
IV.4.La potabilité des eaux selon les normes de l'OMS :	75
IV.4.1.Variations des paramètres physiques (pH, TDS, Turbidité , Conductivité) :	76
IV.4.1.1.pH :	76
IV.4.1.2.La conductivité :	76
IV.4.1.3.Sels Totaux Dissous :	77
IV.4.1.4.Turbidité :	77
IV.4.2.Variations des paramètres chimiques :	78
IV.4.2.1.Cations Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ :	78
IV.4.2.2. Anions Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} :	80
IV.4.2.3.Paramètres indésirables et de pollution PO_4^{3-} , NO_2^- , NH_4^+ , Fe^{2+} :	82
IV.4.3.Variations des paramètres biologiques :	83
IV.4.3.1.Les streptocoques :	83
IV.4.3.2.Coliformes totaux, fécaux et <i>Escherichia Coli</i> :	83
IV.4.3.3.Les coliformes totaux :	83
IV.4.3.4.Spores A.S.R :	83
IV.5.Classification et évaluation des eaux de la région de Ghardaïa :	83
IV.5.1.Faciès hydro-chimique et géochimiques :	83
IV.5.1.1.Diagramme de stabler :	84
IV.5.1.2.Diagramme de Piper :	85
IV.5.1.3.Diagramme Schoeller-Berkaloff :	87

IV.5.2.Calcul des indices d'évaluation de la qualité des eaux :	90
IV.5.2.1.Indice d'échange de base :	90
IV.5.2.2.Indice de la Qualité de l'Eau :	90
IV.5.2.3.Grille simplifiée:	92
Conclusion :	95
Conclusion générale.....	96
Références bibliographiques.....	98

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et particulièrement sur les ressources en eau souterraines est en augmentation, principalement en raison de la demande croissante et de la dégradation de la qualité de l'eau. L'accès généralisé à l'eau potable, l'irrigation, l'expansion urbaine, le développement industriel et le tourisme sont autant de facteurs qui accroissent ces pressions [1].

Les eaux souterraines sont une partie essentielle du cycle hydrologique et une ressource naturelle extrêmement précieuse, car plus de 1,5 milliard de personnes dans le monde comptent sur les eaux souterraines pour leur eau potable. La plupart des gens considèrent l'eau souterraine comme une source pure d'eau potable qui ne peut pas être polluée parce qu'ils croient qu'elles sont naturellement protégées de la pollution par des couches de sol et de roches ; alors que cette évidence n'est pas toujours absolue, puisqu'en réalité la pollution des eaux a été toujours existé, en raison de son lien étroit avec les activités de l'homme, qui se produisent généralement à l'intérieur ou à proximité d'une entité géographique appartenant à un bassin versant [2].

L'eau potable en Algérie provient soit des eaux souterraines, soit des eaux de surface. La plupart des Algériens consomment l'eau potable qui leur est fournie par les réseaux publics de distribution, qui doivent répondre aux exigences de qualité fixées par les normes nationales. L'ensemble des efforts nationaux d'approvisionnement en eau potable de la population a permis d'atteindre un taux de raccordement des ménages à l'eau potable de 93% en 2008 contre 78% en 1999 et 92% en 2007 [3].

La région d'étude est wilaya de Ghardaïa se situe dans le sud algérien, plus exactement au centre du Sahara septentrional. La principale source de satisfaction de la demande en eau dans cette zone c'est l'eau souterraine, en raison du climat aride et de l'exploitation relativement facile de cette ressource souterraine. Elle contient d'importantes réserves d'eau souterraines dont les deux principales nappes sont : la nappe du Continental Intercalaire (CI) et la nappe du complexe terminal (CT) du Sahara septentrional. Ces eaux souterraines jouent un rôle très important dans l'approvisionnement de la population en eau potable [4, 5].

L'objectif du présent ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de notre région, pour cela nous avons réalisés une étude sur des échantillons représentatifs prélevés dans des différents sites bien répartis géographiquement.

Pour atteindre l'objectif de l'étude, nous avons structuré notre travail comme suit

Etude Bibliographique :

- ❖ **CHAPITRE I :** présente une généralité sur l'eau, la pollution d'eau et les effets sur la santé humaine, les critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine et les normes de potabilité.
- ❖ **CHAPITRE II :** présente le contexte général de la région d'étude, les caractéristiques démographiques, climatiques, géographiques, hydrographie et hydrogéologiques de la zone.

Partie Pratique :

- ❖ **CHAPITRE III :** présente le matériel et les méthodes et les différentes analyses effectuées.
- ❖ **CHAPITRE IV :** interprétation et discussion des résultats obtenus à partir des analyses des échantillons étudiés et en comparant les résultats aux normes internationales de potabilité de l'eau, classification et évaluation des eaux de la région de Ghardaïa.

Et enfin une conclusion générale.

PREMIERE PARTIE
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
GENERALITE SUR L'EAU

Introduction :

Dans ce chapitre, nous essaierons de faire une généralité sur l'eau afin d'aborder sa structure chimique et leur composition minérale et organique puis nous passons à leur cycle dans la nature afin de définir les trois principales directions (le ruissellement ; l'évapotranspiration et l'infiltration), ces directions conduisent l'eau vers la mer ou se ruisselle vers les dépressions naturelles où l'eau se repose superficiellement ou elle s'infiltré à travers les nappes souterraines.

La pollution est l'une des plus grandes risques menaçants les ressources en eau, pour cela nous avons consacré une partie dans ce chapitre afin de montrer leurs conséquences négatives.

I.1. Structure de l'eau :

I.1.1. La molécule d'eau :

Elle est simple, elle est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène : sa formule chimique est H_2O . Chaque atome d'hydrogène est relié à l'atome d'oxygène par une liaison covalente O-H. Celle-ci est formé par la mise en commun de deux électrons - ils forment un doublet – l'un en commun de deux électrons – ils forment un doublet – l'un venant de l'oxygène, l'autre de l'hydrogène [6]. Peut être représentée une molécule d'eau en trois dimensions sous la forme d'un tétraèdre déformé. Les deux liaisons présentes dans la molécule, $H-O-H$, constituée un angle de $104,5^\circ$ (au lieu de $109,5^\circ$ dans un tétraèdre) [7].

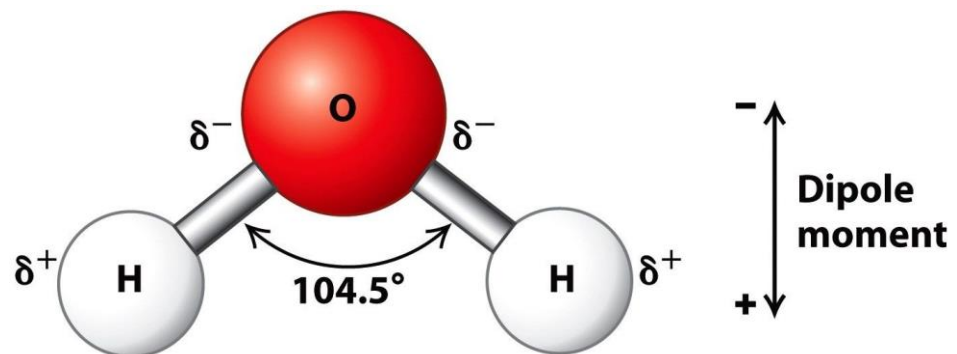


Figure 1: Structure de l'eau.

I.2.Composition des eaux naturelles :

Les matières présentes dans l'eau peuvent être classées selon deux modes différentes :

- Suivant leur nature chimique : organique ou minérale.
- Suivant leur état physique : matières dissoutes, colloïdales ou en suspension [8].

I.2.1.Matières minérales :

Ce sont essentiellement des composés ioniques, anions et cations, qui résultent de la dissolution des roches dans l'eau qui circule à leur contact.

L'eau contient également des gaz dissous qui ont une grande importance dans les phénomènes biologique ainsi que chimiques comme par exemple la corrosion [8].

I.2.2.Matières organique :

Ce sont des composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Ces matières se forment soit de l'érosion des sols, soit de la décomposition de matières animales ou végétales qui se décompose dans l'eau. Elles se décomposent en raison de son instabilité chimique et par l'action des microorganismes présents dans l'eau en formant des composés de plus en plus simples [8].

I.2.3.Matières dissoutes :

Ce sont des matières dispersées de forme homogène dans l'eau, faiblement polarisées ou ionisées. Elles sont soumises à des équilibres de dissolution qui dépend de la température et de la pression, ce dernier facteur étant très important pour les gaz.

En raison de leur état dissous, ces molécules sont difficiles à éliminer de l'eau à traiter par les procédés physiques classiques, décantation et filtration. Si leur élimination est nécessaire, par exemple pour les nitrates, il faudra recourir des méthodes chimiques ou biologiques [8].

I.2.4.Matières colloïdales :

L'état colloïdal est un état intermédiaire entre l'état dissous et la suspension. Les matières colloïdales sont composées d'éléments de petite taille chargés négativement, c'est ce qui cause qu'ils se repoussent et se répartissent de manière dispersée et désordonnée dans la masse liquide. De plus, il est difficile d'éliminer ces matières de l'eau à traiter en raison elles ne décantent pas de manière spontanée et sont peu retenues par les filtres. On doit utiliser des réactifs chimiques qui s'écartent les charges négatives superficielles et permettent leur

agrégation. Cette étape est appelée coagulation-floculation ; elle est suivie par une décantation pour éliminer les colloïdes, nommés floccs, qui peuvent alors décanter [8].

I.2.5. Matières en suspension :

Ce sont des particules solides de la taille supérieure à 10µm, qui se dispersent dans l'eau sans y être chimiquement liées. De ce fait, leur élimination est très simple car, si l'on fait reposer l'eau, elles se déposent de manière spontanée et peuvent être retirées de l'eau par des procédés physiques simples (décantation, filtration) [8].

I.3. Les propriétés de l'eau :

I.3.1. les propriétés physiques de l'eau :

L'eau possède plusieurs propriétés physiques, parmi lesquelles ses points de fusion et d'ébullition élevés, sa grande capacité calorifique et la densité. Le tableau suivant montre les propriétés physiques de l'eau :

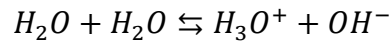
Tableau 1: Les propriétés physiques de l'eau [9] :

Propriétés	En comparaison avec d'autres liquides	Signification pour l'environnement
Densité	Maximum vers 4°C, détente lors des gelées	Difficultés en cas de gelées, donne lieu à des stratifications saisonnières
Point de fusion et d'ébullition	Exceptionnellement élevés	Possibilité d'eau sous forme liquide à la surface de la terre
Capacité calorifique	Capacité calorifique la plus élevée de toutes les fluides exceptions faite de NH_3	Tampon face aux températures extrêmes
Chaleur d'évaporation	Extrêmement forte	Tampon face aux températures extrêmes
Tension superficielle	Élevée	Importante pour la formation des gouttes dans les nuages et les pluies
Absorption lumineuse	Élevée dans le domaine des infrarouges et des UV, moins forte dans le domaine de la lumière visible	Importante pour la régulation de l'activité biologique (photosynthèse) et pour la température atmosphérique
Propriétés en tant que solvant	A cause de la propriété dipolaire, l'eau convient à la dissolution des sels (ions) et des molécules polarisées	Transport de substances dissoutes dans le cycle hydrologique et dans la biomasse

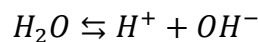
I.3.2. Propriétés Chimiques :

I.3.2.1. Dissociation ionique de l'eau:

Les associations par liaisons hydrogène est fortes dans l'eau, sont pour que certains atomes H sont liés à une molécule H_2O voisine, formant un ion hydronium H_3O^+ :



On représente ce phénomène par l'équation simplifiée [10] :



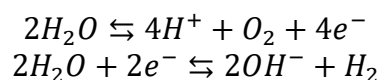
I.3.2.2. Solubilité des gaz dans l'eau :

La dissolution des gaz dans l'eau a un effet très important pour les eaux naturelles, que ces gaz soient indispensables à la vie aquatique comme l' O_2 ou le CO_2 ou qu'il s'agisse des gaz toxiques comme H_2S [11].

On distingue des gaz peu solubles qui donnent des solutions moléculaires, non électrolytes, et les gaz dont la dissolution s'accompagne de véritables réactions chimiques (acide – base ou oxydo-réduction). Ces derniers sont généralement beaucoup plus solubles dans l'eau [10].

I.3.2.3. L'oxydo-Réduction :

Suivant les conditions expérimentales, l'eau peut participer, à des réactions d'oxydoréductions comme réaction possible :



- Le premier cas, l'eau est donneuse d'électrons, (réducteur).
- Le deuxième cas l'eau est accepteur d'électrons, (oxydante) [12].

I.3.3. Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, l'oxygène et le dioxyde de carbone contribuent à créer des conditions propices au développement des êtres vivants. Il y a un cycle biologique, cycle à travers une série d'échanges. L'eau un élément majeur de la composition des organismes vivants [13].

I.4.Cycle de l'eau dans la nature :

De l'océan à la terre, le cycle de l'eau est principalement lié au processus d'évaporation, qui génère de la vapeur d'eau qui se déplace vers les continents sous forme de pluie. Cette étape est particulière car elle ne transfère que de l'eau dans l'atmosphère. En fait, lors de l'évaporation, presque tous les minéraux restent dans l'océan. Cela conduit à une concentration des éléments minéraux dans l'eau de mer [14].

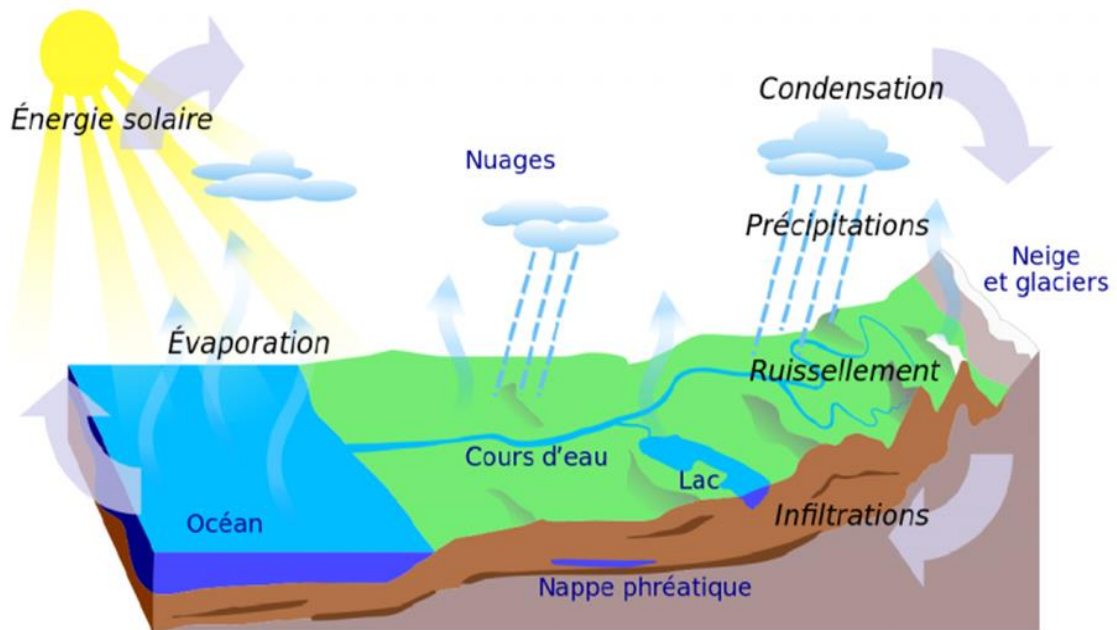


Figure 2: Cycle de l'eau.

L'eau retourne à l'océan par deux voies : les eaux de surface ou les eaux souterraines. En fait, ces deux voies sont liées entre elles, du fait des échanges entre rivières et aquifères en de nombreux points du parcours. Le sol joue un rôle important dans ce processus, car il redirige les flux d'eau dans trois directions :

- Dans la première direction : une partie de l'eau en surface s'écoulera vers les rivières, et ce phénomène s'appelle le ruissellement.
- Dans la seconde direction : Une partie va s'évaporer directement ou être absorbée par les plantes puis être rejetée dans l'atmosphère par transpiration, et le phénomène global est appelé évapotranspiration.
- Dans la troisième direction, l'eau résultante reste dans le sol et descend progressivement jusqu'aux eaux souterraines, ce phénomène est nommé infiltration [14].

I.5. Les sources naturelles de l'eau:

I.5.1. Eaux de pluie :

L'eau de pluie est caractérisée comme une eau de bonne qualité pour la consommation humaine. Il est très doux en raison de la présence d'oxygène et d'azote et de l'absence de sels dissous tels que les sels de magnésium et de calcium [15].

I.5.2. Eaux de mer :

L'eau de mer est une source d'eau brute qui n'est utilisée que lorsqu'il n'y a aucun moyen d'obtenir de l'eau douce. L'eau de mer se caractérise par de fortes concentrations de sels dissous dans celle-ci : c'est ce qu'on appelle sa salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33 000 à 37 000 *mg/l* [16].

I.5.3. Eaux superficielles :

La composition chimique des eaux de surface est liée à la nature du terrain que l'eau traverse au cours de son parcours à travers l'ensemble des bassins versants. Au cours de son parcours, l'eau dissout les différents éléments constitutifs de la terre ; par échange de la surface du sol. L'eau et l'atmosphère, l'eau chargée de gaz dissous (O_2 ; N_2 ; CO_2) [10].

I.5.4. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines représentent environ 97 % du total des eaux douces continentales liquides, la nature géologique du terrain a une grande influence sur la composition chimique des eaux souterraines. L'eau est en contact avec la terre. Il stagne ou tourne : un équilibre est atteint entre la composition de la terre et la composition de l'eau. L'eau de circulation dans les sols sablonneux ou granitiques est acide et peu minéralisée. L'eau qui circule dans un sol calcaire est du bicarbonate de calcium [10, 17] .

I.6. Pollution des eaux :

Depuis plus de cinquante ans, la pollution est l'un des plus grands dangers, problèmes auxquels est confronté notre monde moderniste. La pollution est, la présence dans l'environnement de grandes quantités de produits dangereux, et toxique généralement créée par humain, dont les effets néfastes peuvent se faire durant de longues durées sur toute la planète. Cette pollution peut affecter l'eau, l'air, la terre et l'être vivant aussi. Les pollutions appa-

actuellement d'origine, de nature, de forme et d'actions multiples et se révèlent comme un problème essentiel de notre temps [18].

I.6.1. Définition de la pollution de l'eau :

La pollution se définit comme la dégradation d'un milieu naturel par introduction d'un polluant. Avec des conséquences négatives pour l'environnement. Concrètement, pour une même substance, son caractère polluant sera plus ou moins élevé en fonction des quantités déversées dans le milieu et de la capacité de ce milieu à l'éliminer naturellement. En ce qui concerne l'eau, le milieu aquatique est pollué lorsque, sous l'effet de l'activité humaine, elle devient impropre à satisfaire la demande d'utilisation où qu'elle présente un danger pour l'environnement, ces milieux aquatiques sont les cours d'eau (les rivières), les nappes souterraines, les mers, les lacs, les retenues d'eau, etc [19].

I.6.2. Sources de la pollution:

Selon l'origine de pollution, on peut distinguer les grands groupes de pollution : Industrielle, urbaine, agricole et atmosphérique [20].

I.6.2.1. Pollution industrielle :

Elle peut être faite par les rejets industriels, thermiques et chimiques (des eaux usées les déchets solides (miniers) et gazeux). Sa nature est aussi variée que celle des fabrications. La pollution par les éléments toxiques est la plus grave pollution comprise dans ce type [20].

I.6.2.2. Pollution urbaine :

La pollution d'origine urbaine, correspond à des apports hétérogènes liés, d'une part aux activités physiologiques et domestiques (des décharges publiques et autres dépôts d'ordures ménagères) et d'autre part aux activités économiques, industrielles (matières organiques) et commerciales pratiquées dans le milieu urbain. Pour les activités physiologiques et domestiques, ils sont principalement organiques et bactériologiques [20].

I.6.2.3. Pollution agricole :

La pollution d'origine agricole provient surtout en raison de l'utilisation d'engrais chimiques et de produits phytosanitaires (insecticides, fongicides, herbicides, etc.) par les agriculteurs.

L'utilisation irrationnelle de ces produits peut entraîner des risques graves et polluer les eaux souterraines [20].

I.6.2.4. Pollution atmosphérique :

La pollution atmosphérique elle constitue la deuxième source de pollution des eaux de surface et souterraines plus en plus inquiétante à cause des intrants dans la composition de l'air qui est la source de vie des humains, en effet les principaux polluants atmosphériques sont :

- Le gaz carbonique : non nocif mais très actif dans l'effet de serre.
- Le monoxyde de carbone : il gêne l'absorption d'oxygène par le sang mais heureusement il a une durée de vie très courte.
- Les oxydes d'azote : ont peu d'effets par eux-mêmes à faible concentration, mais sont précurseurs de l'ozone aux conséquences néfastes sur la santé.
- Le plomb : aux méfaits dangereux sur la santé [20].

I.6.3. Les principaux polluants:

La pollution de l'eau est l'ensemble des nuisances auxquelles peut être exposé son usager et les organismes aquatique. La pollution engendrée peut être d'ordre physique, chimique et microbiologique. Pour mieux évaluer la pollution, il existe des paramètres qui permettent d'estimer l'ampleur de celle-ci en fonction de son type [21]:

I.6.3.1. Polluants chimiques :

La pollution chimique elle est due à l'entrée d'un ou plusieurs éléments indésirables dans la composition chimique de l'eau initialement destinée à un usage bien précis. Deux types de paramètres permettent d'évaluer l'état de cette pollution :

- Les paramètres globaux : ils résultent de la juxtaposition des effets de plusieurs substances en même temps exemple pH, conductivité, turbidité, etc.
- Les paramètres spécifiques qui caractérisent un composé particulier ou beaucoup de propriétés chimiques comparables [21].

I.6.3.2. Polluants physiques :

La pollution physique est liée aux facteurs influents sur l'état physique de l'eau tels que la température, la conductivité (CE), le solide total dissous (TDS), la présence des particules ou des mousses et le changement de l'effet réfractaire de l'eau, en plus des rejets d'eau chaude des centrales nucléaires et activités radioactives [21].

I.6.3.3. Polluants microbiologiques :

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau des microorganismes qui sont véhiculés par l'eau et sont responsables de beaucoup de maladies hydriques. L'eau peut être un milieu favorable aux développements des bactéries et virus nuisibles à la santé humaine et pathogènes telle que (*Vibrionacea* , *Enterobacteriaceea*, etc...) Les parasites sont eux aussi la source de beaucoup autres maladies (hépatite infectieuse, méningite, etc..) [21].

I.6.4. Effets de la pollution de l'eau sur la santé humaine:

Dans ce paragraphe on va exposer les différents risques que présentent quelques éléments sur la santé humaine selon (OMS) :

I.6.4.1. Calcium et Magnésium :

L'existence de ces éléments à des taux élevés est à la base de maladies rénale, dépassant un certain seuil le magnésium provoque des troubles digestifs chez l'adulte. Cependant, les deux ont des avantages pour la santé tels que le renforcement des os et l'amélioration des réactions métaboliques [19].

I.6.4.2. Sodium et potassium :

Le sodium peut engendrer des crises d'hypertension et de cardiopathies, quand il est présent en concentrations élevé. Le potassium a un effet cathartique, mais il donne un léger goût. Généralement il ne présente pas d'inconvénients [19].

I.6.4.3. Sulfates :

Les fortes concentrations d'ion sulfate causer des agacements gastro- intestinaux [19].

I.6.4.4. Chlorures :

Les eaux abondant en chlorures sont agressives et de mauvais goût. Elles sont nocives pour les plantes [19].

I.6.4.5. Nitrates :

La concentration des eaux ayant des teneurs forts de nitrate provoque l'irritation des muqueuses. L'ingestion de qualité plus élevée entraîne des nausées, des vomis [19].

I.6.5. Nocivité et effets de la pollution:

Sur les milieux naturels, la pollution de l'eau est causée par la modification de ses caractéristiques (physico-chimiques et biologiques) en y libérant certaines substances soit à l'état insoluble (matières en suspension), soit à l'état dissous susceptible de :

- Perturber, à plus ou moins brève échéance, l'équilibre biologique du milieu en rendant toute vie animale et végétale aléatoire.
- Rendre l'eau invalide à toute réutilisation ultérieure (production d'eau adapté à la consommation humaine, à l'usage industriel et agricole).

L'activité industrielle génère des polluants divers susceptibles de créer grande problème. On peut considérer d'une manière générale, que les eaux résiduaires industrielles sont des mélanges hétérogènes comprenant :

- Des matières à caractère minéral ou organique qui sont entraînées par le courant liquide sous forme de composés insolubles et particules solides en suspension à dispersé ou émulsions (graisses, huiles, goudrons, hydrocarbures).
- Et, en proportion plus ou moins grande, des composés en dissolution dans l'eau (pollution soluble) [22].

I.7. Qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

I.7.1. Critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

I.7.1.1. Paramètres organoleptiques :

Couleur :

La couleur des eaux est en général, très transparente, sauf si les sont chargées de sels de fer, la coloration d'une eau est dite réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration [10, 19].

Odeur :

Les eaux sont, en générale, inodores si elles sont potables, Les odeurs proviennent, soit des produits chimiques, soit de matières organiques en décomposition, soit de protozoaires, soit d'organismes aquatiques. Ils peuvent être identifié par une odeur rappelant celle de l'hydrogène sulfuré provenant de la décomposition de matières organiques [19, 20].

Goût:

Le goût d'une eau dépend des sels et des gaz qu'elle contient en suspension ou en solution. Une eau potable de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable; le goût de l'eau potable peut également être défini comme étant la sensation que provoquent des substances présentes dans l'eau dont les tensions de vapeur et l'odeur sont négligeables [23, 24].

1.7.1.2. Paramètres physiques :**Potentiel d'hydrogène (pH) :**

Le pH de l'eau est défini selon sa concentration en ions H^+ existant dans la solution. Il exprime l'alcalinité ou l'acidité du milieu et renseigne sur le caractère agressif ou incrustant de l'eau, le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique et alcalin dans les calcaires. De ce fait le pH est corrigé selon les cas par élimination du CO_2 dissous en excès ou par correction de la dureté carbonatée.

- Si la concentration H^+ est plus forte, **le pH sera < à 7** et la solution sera dite «acide».
- Si la concentration H^+ est plus faible, **le pH sera > à 7** et la solution sera dite «alcaline» ou «basique» [10, 19].

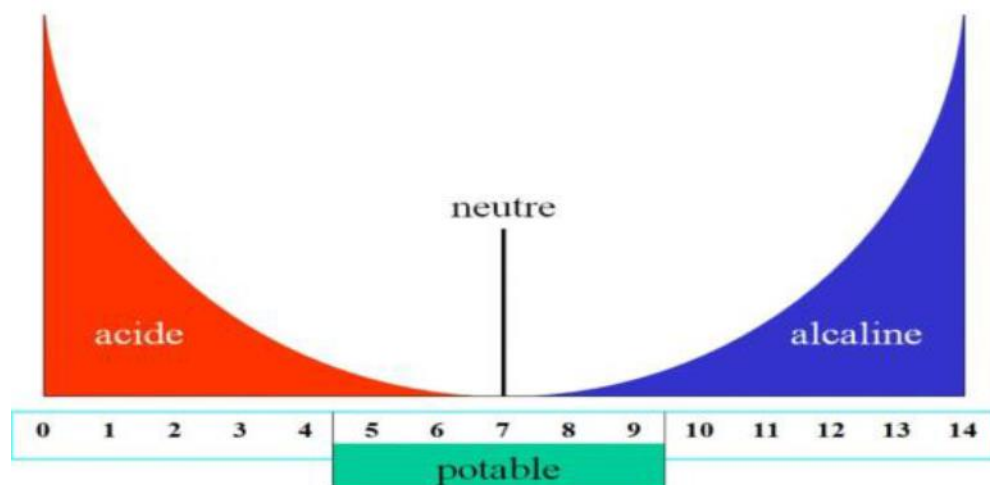


Figure 3 : Echelle logarithmique de pH.

Température :

La température joue un rôle primordial sur la conductivité électrique, c'est-à-dire dans la solubilité des sels et surtout des gaz et dans la dissociation des sels dissous permettre de différencier entre les eaux qui circulent en profondeur et celles qui circulent près de la surface, donc sur son origine après la détermination du pH [10, 19].

Conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface, séparées l'une de l'autre de 1 cm . La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. La conductivité est également fonction de la température de l'eau, elle est plus importante lorsque la température augmente. La conductivité est également un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau la conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 $\mu S/cm$. Du point de vue qualité de l'eau, on a le classement suivant [10, 19] :

Tableau 2: Qualité de l'eau en fonction de la conductivité électrique [19].

Conductivité électrique ($\mu S/cm$)	Qualité de l'eau
50 à 400	Excellente
400 à 750	Bonne qualité
750 à 1500	Médiocre mais eau utilisable
> à 1500	Minéralisation excessive

Turbidité :

La turbidité est un caractère très important, car une eau susceptible d'être trouble peut être suspecte du point de vue bactériologique. Elle permet d'indiquer les informations visuelles de la couleur de l'eau. La turbidité existe à cause des particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques...). Elle se mesure à l'aide d'un turbidimètre et peut être exprimée en : NTU (**Nephelometric Turbidity Unit**) [21].

Salinité

La salinité définie comme la concentration de la solution exprimée en grammes de sels par litre, et la salinité a de nombreuses origines: la roche mère, les eaux d'irrigation et les engrais [25].

Résidu et Sels Totaux Dissous (TDS) :

La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Le résultat obtenu est influencé par la température et la durée de la dessiccation [26].

1.7.1.3. Paramètres chimiques**Paramètre de pollution :****Nitrate :**

Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant. Leurs concentrations naturelles ne dépassent pas 3 mg/L dans les eaux superficielles et quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle essentiel dans leur présence de plus, l'activité humaine contribue à alimenter l'eau en nitrates [10].

Nitrite :

Les nitrites constituent une étape importante dans la métabolisation des composés azotés ; ils s'insèrent dans le cycle de l'azote entre l'ammoniac et les nitrates. Leur présence est due, soit à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac, soit à la réduction des nitrates. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et sont facilement oxydés en nitrates (par voie chimique et bactérienne). Des concentrations élevées en nitrites, témoignent souvent de la présence de matières toxiques [19].

Azote ammoniacal (ou Ammonium) :

L'azote ammoniacal est un gaz soluble dans l'eau. Il y a un faible pourcentage, moins de 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles.

C'est un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la matière organique azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère [27].

Phosphates :

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des ortho-phosphates. L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation. Chaque fraction de phosphore en solution ou en suspension peut être séparée analytiquement en ortho-phosphates phosphore hydrolysable et phosphore organique [10].

Ortho-phosphates :

Le phosphore est généralement présent sous forme d'ortho-phosphate, les principales sources sont :

- Les eaux usées et les fosses septiques à partir des phosphates organiques dans les déchets corporels et les résidus alimentaires.
- Détergents et engrais.

Les décharges industrielles, les phosphates sont ajoutés à l'eau pour empêcher la formation d'oxydes de fer ou de carbonates de calcium [2].

Minéralisation globale :**Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium (Mg^{2+}):**

Le calcium Ca^{2+} et le magnésium Mg^{2+} sont présents dans toute sortes de roches (sédimentaires, ignées, cristallines). Ils sont très solubles et sont donc largement représentés dans la plupart des eaux [19].

Sodium (Na^+) et Potassium (K^+):

Le Sodium est un élément très répandu dans la nature, on le trouve dans les feldspaths, les évaporites et les argiles, le Sodium est très mobile souvent associé aux chlorures et aux bromures [19].

Le potassium (K^+) est assez abondant sur terre, mais peu fréquent dans les eaux. En effet, il est facilement adsorbé et recombinaison dans les sols (sur les argiles notamment). Les sources principales de potassium sont les roches cristallines (mais dans des minéraux moins altérables que ceux qui contiennent du sodium), les évaporites et les argiles [19].

Chlorures (Cl^-):

L'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments, il n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution.

Les teneurs en chlorures des eaux sont extrêmement variées et liées principalement à la nature des terrains traversés (roches magmatiques contenant des minéraux de chlore) [19].

Sulfates (SO_4^{2-}):

Les origines des sulfates dans les eaux sont variées. Les origines naturelles sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques, notamment le gypse ($CaSO_4$), la pyrite (FeS) et plus rarement de roches magmatiques (galène, blende, pyrite). Les origines anthropiques sont la combustion de charbon et de pétrole qui entraîne une production importante de sulfures (qu'on retrouve dans les pluies), et l'utilisation d'engrais chimiques [19].

Dureté totale TH:

La dureté totale d'une eau est le produit de la présence des sels dissouts de calcium et de magnésium qu'elle contient, on distingue deux types de duretés : une dureté dite carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres types de sels.

La dureté se mesure par le titre hydrotimétrique exprimé en °F (degré français) ; 1°F correspond à 10 mg de carbonate de Ca dans 1 litre d'eau. Des valeurs faibles correspondent à des eaux douces, dont le TH est compris entre 50 et 120 mg/l. Les eaux dures ont un titre compris entre 250 et 320 mg/l [2, 10].

Tableau 3: Classification des eaux en fonction de leur dureté [10].

Dureté en °F	Qualité de l'eau
0 à 5	Eau très douce
5 à 12	Eau douce
12 à 25	Eau moyennement dure
25 à 32	Eau dure
> 32	Eau très dure

Titre Alcalimétrique complet TAc :

Il contribue à déterminer de la teneur en hydrogénocarbonates (HCO_3^-). L'alcalinité exprime la capacité de neutralisation des acides présents dans l'eau. Le bicarbonate est présent dans l'eau en raison de la dissolution des formations carbonatées (cipolin, calcaire, dolomie ...) par des eaux chargées en gaz carbonique. Leurs concentrations dans les eaux naturelles comptent sur essentiellement de la température ambiante, du pH de l'eau, de la concentration en gaz carbonique dissous et de la lithologie [28].

Paramètres indésirables**Fer :**

Le fer peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire pour un pH variant entre 4,5 et 9, le fer soluble présent est généralement à l'état ferreux. Si le milieu est réducteur comme dans beaucoup d'eaux souterraines.

Le fer ferrique n'est soluble d'une façon significative qu'à des $pH < 3$. Les normes de l'O.M.S. ont retenu pour la potabilité la valeur limite de $0,3 \text{ mg/l}$ [26].

1.7.1.4. Paramètres bactériologiques :

Le terme « coliforme » correspond à des organismes non sporogènes, gram négatifs, oxydase négatifs, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autres agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance similaires et capables de fermenter le lactose (et le mannitol) avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures, à des températures de 35 à $37^\circ C$ [26].

Coliformes fécaux :

C'est un sous- groupe des coliformes totaux l'espèce la plus proche de ce groupe bactérien est *l'Escherichia Coli (E. coli)*. Sa présence dans l'eau de puits indique définitivement une contamination fécale par le fumier ou les eaux usées d'une fosse septique à proximité [20].

Coliformes totaux :

Ce sont des bactéries en formes bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives. Il se présente naturellement dans le sol et dans le tube digestif des humains et des animaux. Ainsi, sa présence dans l'eau peut indiquer une contamination fécale et peut également signifier que l'eau de surface s'infiltré dans les eaux souterraines et peut être impropre à la consommation [20].

Escherichia coli :

Le terme « *E. coli* » correspond à des coliformes thermo tolérants qui produisent de l'indole à partir du tryptophane et ont les caractères biochimiques propres à cette espèce, est utilisée à titre d'indicateur de la qualité des eaux [26].

Les streptocoques fécaux :

Ce sont des indicateurs de pollution et sont généralement pris en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal [20].

I.8. Les normes de potabilité des eaux destinées à la consommation humaine:**I.8.1. Normes l'OMS :**

L'OMS travaille depuis de nombreuses années pour examiner et évaluer les informations sur les aspects sanitaires liés à la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine avant d'établir à ce sujet un document à caractère consultatif : Guidelines for Drinking-water Quality. la première publication de ce rapport date de 1958 et il est régulièrement mis à jour (dernière version :1996).

Les valeurs des différents paramètres de qualité des eaux sont, à titre de recommandation, sous forme de valeurs guides (VG) qui correspondent à la concentration à laquelle l'eau ne présente pas de risque sensible pour la santé humaine.

Ces recommandations concernent un grand nombre de paramètres mais n'ont pas de caractère contraignant ; ainsi, chaque pays pourra se servir de ces recommandations pour mettre en place sa propre législation [29]. L'Algérie a ses propres normes sont les normes algériennes (NA). Le tableau suivant présenté les normes OMS et NA de l'eau potable :

Tableau 4 : Les normes N.A et OMS [26, 30-37] :

	Paramètres	Symbole	Unité	N.A	OMS
Paramètres physiques	Potentiel d'hydrogène	pH	/	$\geq 6,5$ et ≤ 9	6,5 - 8,5
	Température	/	$^{\circ}C$	25	25
	Conductivité	/	$\mu s/cm$	2800	1400
	Turbidité	/	NTU	5	5
	Salinité	/	/	/	/
	Sels Totaux Dissous	TDS	mg/l	/	1000
Paramètres chimique	Ammonium	NH_4^+	mg/l	0,5	0,5
	Nitrites	NO_2^-	mg/l	0,2	0,5
	Ortho-phosphates	PO_4^{3-}	mg/l	/	0,5
	Calcium	Ca^{2+}	mg/l	200	75-200
	Magnésium	Mg^{2+}	mg/l	/	150
	Dureté totale	TH	mg/l	500	100-500
	Sodium	Na^+	mg/l	200	200
	Potassium	K^+	mg/l	12	12
	Chlorures	Cl^-	mg/l	500	250
	Sulfates	SO_4^{2-}	mg/l	400	250
	résidu sec	/	mg/l	1500	1000
	Nitrates	NO_3^-	mg/l	50	50
	Titre Alcalimétrique complet	TAc	mg/l	500	500
	Fer	Fe^{2+}	mg/l	0,3	0,3
Paramètres bactériologique	Coliformes totaux	/	nb/100ml	0	10
	<i>Escherichia coli</i>	/	nb/100ml	0	0
	<i>Streptocoque fécaux</i>	/	nb/100ml	0	0
	Spores A.S.R	/	nb/20ml	0	0

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu que l'eau a une structure simple, deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène. Les matières composantes ont deux origines minérale et organique, Ces matières présentes dans l'eau sous trois états, en suspension ; colloïdale et dissout.

Nous avons vu aussi qu'il existe quatre sources naturelles de l'eau dans le globe terrestre où cette eau se circule sous trois directions, une partie de l'eau en surface s'écoulera par ruissellement vers les rivières pour atteindre les mers et les océans, la seconde partie va s'évaporer directement ou être absorbée par les plantes puis être rejetée dans l'atmosphère par transpiration, la dernière partie reste dans le sol et descend progressivement par infiltration jusqu'aux eaux souterraines.

La pollution des eaux est une préoccupation majeure des pays par ce qu'elle entrave son développement. La pollution est définie comme la dégradation d'un milieu naturel par introduction d'un polluant engendre des conséquences négatives. Nous avons vu qu'il y a quatre origines de la pollution ; industrielle ; urbaine ; atmosphérique et agricole.

L'eau destinée à la consommation humaine doit avoir des critères organoleptiques ce qui veut dire l'eau potable doit être d'abord sans goût désagréable sans couleur ou limpide et sans odeur, puis il y a d'autres critères physico-chimiques et bactériologiques mentionnés se forme des normes de potabilité selon l'OMS.

CHAPITRE II
PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE

Introduction :

La région de Ghardaïa, fait partie du grand domaine de la plateforme saharienne. Dans ce chapitre, nous présentons la présentation générale du cadre physique de la zone d'étude, en abordant les caractéristiques démographie, climatiques, géologiques, hydrographie et hydrogéologiques de la zone.

II.1.Situation géographique :

Ghardaïa, située au Centre du Sahara Septentrional à 600 *km* au sud de la capitale Alger est considérée comme l'une des grandes oasis du Sahara Algérien, regroupant 13 communes amalgamées dans 9 Daïra, sa superficie est de 84660,12 *km*². Géographiquement elle est comprise entre 3°40'24" longitude Est et de 32°29'27" latitude Nord[38].

II.1.1.Limites :

La Wilaya de Ghardaïa est limitée :

Au Nord par la Wilaya de Laghouat (**200Km**) .

Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (**300Km**) .

A l'Est par la Wilaya de Ouargla (**190Km**) .

Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (**1370Km**) .

Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (**400Km**) .

A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh(**350Km**) [39].

La Wilaya couvre une superficie de 84660,12 *km*² se répartissant comme suit :

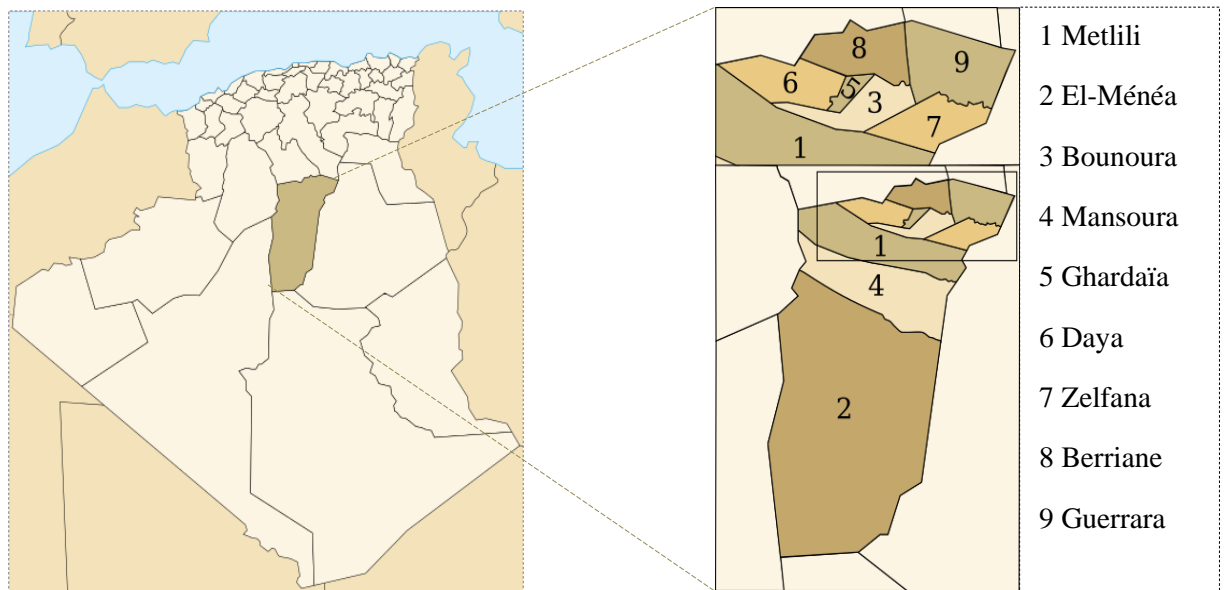


Figure 4 : Carto graphique de la Wilaya de Ghardaïa.

II.1.2. Superficie de la Wilaya :

Tableau 5 : Communes et localités de la cuvette de Ghardaïa[39].

Communes	Superficies (Km^2)
Ghardaïa	306,47
El-Ménéa	23920,68
Daya	2234,94
Berriane	2609,80
Metlili	5010,12
Guerrara	3382,27
El-Atteuf	717,01
Zelfana	1946,23
Sebseb	4366,82
Bounoura	778,92
Hassi-El-F'hel	6875,39
Hassi-El-Gara	27698,92
Mansoura	4812,55
Total	84660,12

En raison des changements économiques et sociaux, il qu' a été publié au journal officiel **Décret présidentiel N° 15/140 du 27/05/2015** portant création de circonscriptions administratives dans certaines wilayas et fixant les règles particulières qui leur sont liées. Parmi la nouvelle division se trouve la wilaya de Ghardaïa [39] :

Wilaya	Circonscription administrative	Composition	
		Daïra	Commune
Ghardaïa	El-Menia	El-Menia	El menia, Hassi Gara
		Mansoura	Mansoura, Hassi El Fehal

II.2.Démographie :

La population totale de la Wilaya de Ghardaïa est estimée à la fin de l'année 2018 à 471656 habitants contre 463680 en 2017, soit une augmentation absolue de 7976 et un taux d'accroissement démographique km^2 , dégressif de l'ordre de 1,72 % en 2018. La Wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de $8466012 km^2$ soit une densité de peuplement de $557 habitants/km^2$. La population de la Wilaya est constituée de 50,94 % d'hommes et de 49,06 % de femmes. Dans son ensemble, la population de la Wilaya est jeune, 64,27 % de la population ont moins de 30 ans [39].

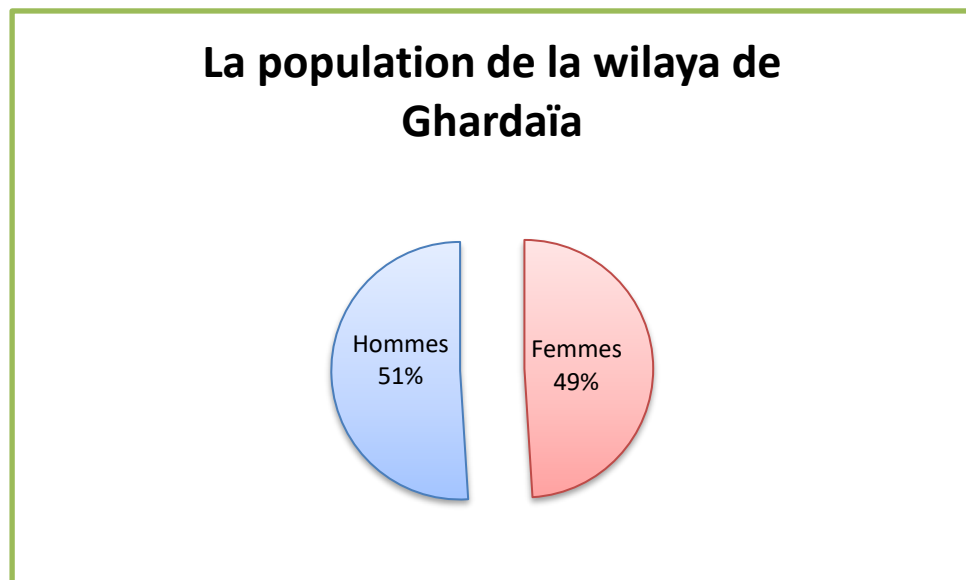


Figure 5 : La population de la wilaya de Ghardaïa.

Tableau 6 : Densité de peuplement par commune [39].

Commune	Population	Superficie (Km²)	Densité (Habitants/ Km²)
Ghardaïa	132761	30647	433,19
El-Ménéa	48228	23 92068	2,02
Daya	15069	2 23494	6,74
Berriane	38060	2 60980	14,58
Metlili	52322	5 01012	10,44
Guerrara	75460	3 38227	22,31
El-Atteuf	19518	71701	27,22
Zelfana	12325	1 94623	6,33
Sebseb	3710	4 36682	0,85
Bounoura	43740	77892	56,15
Hassi El-F'Hel	4888	6 87539	0,71
Hassi El-Gara	21916	27 69892	0,79
Mansoura	3659	4 81255	0,76
Total	471656	84 66012	5,57

II.3.Caractéristiques climatiques :

Les données climatiques de la région de Ghardaïa, période 2009-2021 sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 7: Données climatiques de la région de Ghardaia, période 2009-2021 [40].

	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	T_{moy} (°C)	P_{moy} (mm)	V_{moy} (Km/h)	H_{moy} (%)
Janvier	15,92	7,23	11,77	11,69	20,31	62,62
Février	18,23	8,54	13,38	6,08	22,54	56,15
Mars	22,23	11,85	16,77	10,15	23,54	48,69
Avril	27,31	16,54	21,92	9,31	23,77	42,54
Mai	32,23	21,46	26,85	9,31	23,08	34,85
Juin	37,31	26,54	32	7,85	22,31	29
Juillet	41	29,85	35,31	4,08	18,62	23,38
Aout	39,54	28,92	36,46	11,23	17,85	27,31
Septembre	35	25,46	30,08	13,46	18,15	37,31
Octobre	28,46	18,92	23,77	8,54	17,77	45,46
Novembre	21,08	12,38	16,77	5,85	19,54	56
Décembre	16,54	8,38	12,46	6,31	18,54	63,62

T_{max} : Température maximale

P_{moy} : Précipitation.

T_{min} : Température minimale.

V_{moy} : Vitesse du vent.

T_{moy} : Température moyenne.

H_{moy} : Humidité relative.

La région de Ghardaïa est caractérisée par le climat Saharien qui se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux, surtout pendant la journée.

II.3.1. Température :

Elle est caractérisée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver. Dans la région de Ghardaïa la période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre, les mois le plus chaud est juillet et août la température moyenne est $37\text{ }^{\circ}\text{C}$; janvier et décembre sont les mois le plus froid avec température moyenne est $14\text{ }^{\circ}\text{C}$.

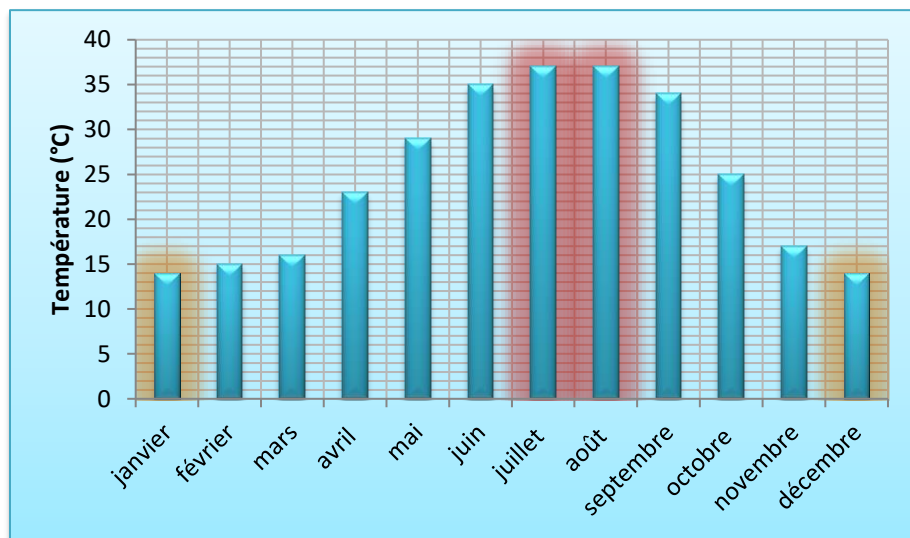


Figure 6 : Les températures moyennes mensuelles.

II.3.2. Les vents :

Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Dans la région de Ghardaïa la valeur maximale de la vitesse de vent est 27 Km/h en avril et la valeur minimale est 16 Km/h en octobre.

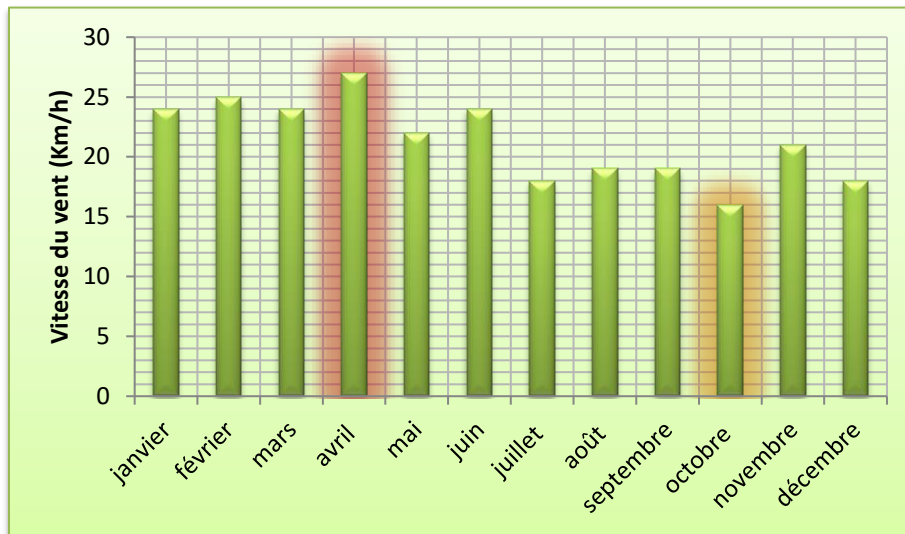


Figure 7 : Les vents moyens mensuels.

II.3.3.Pluviométrie :

A Ghardaïa, les précipitations sont très faibles et irrégulières, au mois de février la précipitation est 23 mm et au mois de mai atteint la valeur 27 mm, pendant l'année, Les pluies sont généralement rares et de courte durée sauf des cas exceptionnels.

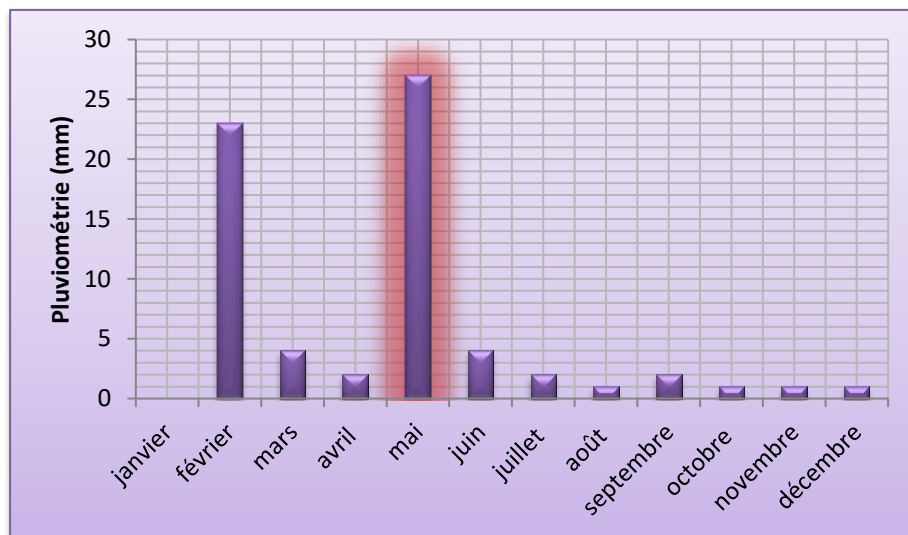


Figure 8 : Les pluviométries moyennes mensuelles.

II.3.4.L'humidité relative:

est le rapport de la tension de vapeur à la tension maximum correspondant à la même température[41]. A Ghardaïa, l'humidité varie entre 19% et 57 %.

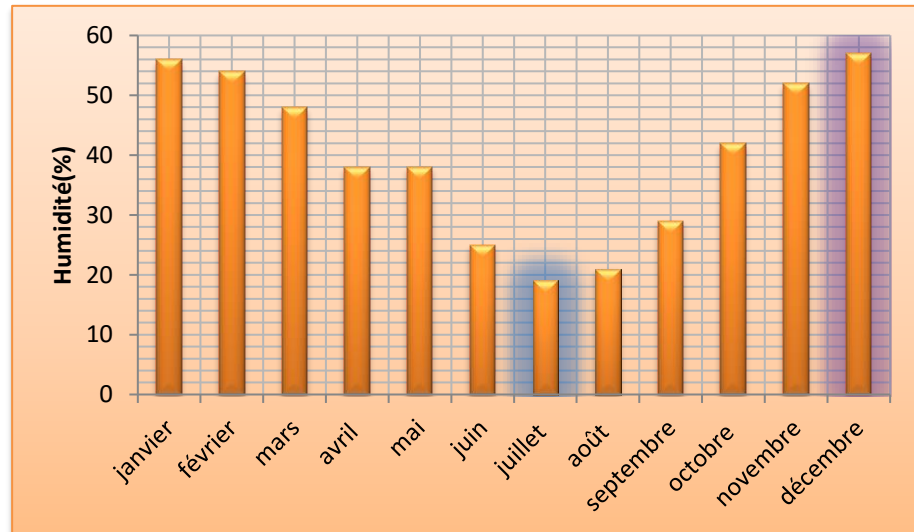


Figure 9 : Humidité moyenne mensuelle.

II.4.Situation hydrogéologique :

Le secteur de l'hydraulique est un secteur plus que vital pour le développement économique et social la Wilaya de Ghardaïa, étant donné l'appartenance de cette dernière aux zones sahariennes. La principale ressource hydrique exploitée dans les régions de Ghardaïa est la nappe souterraine ont pour origine deux nappes principales :

- Nappe du continental intercalaire (C.I).
- Nappe phréatique [39].

II.4.1.Nappe du continental intercalaire (C.I) :

Le continental intercalaire est défini comme le réservoir souterrain le plus étendu du bassin, ses extensions définissent les limites attribuables au domaine de Système Aquifère du Sahara septentrional(SASS) .Majoritairement, il comprend toutes les formations sablo-gréseuses et argilo- du Crétacé inférieur. Les épaisses séries argilo-évaporitiques du Cénomaniens constituent un toit imperméable de l'aquifère [41].

II.4.1.1.L'aquifère du CI dans la région Ghardaïa.

Le continental intercalaire est constitué de sables fins et de grés jaunâtres à gris à intercalations d'argiles. Ce bloc de sable de grés est un aquifère, l'Albien est l'étage qui est capté et exploité avec succès par plusieurs forages dans tout le territoire de la wilaya de Ghardaïa. La profondeur du toit de l'aquifère varie selon les régions, elle varie entre 80 et 150 mètres au sud dans la région de d'El Meniaa, et d'autre part à l'est seule la surface est atteinte à partir d'une profondeur de 650 à 700 mètres (région de Zelfana et Guerrara) [41].

II.4.1.2.Inventaire des points d'eau du CI :

La nappe du CI est exploitée par l'exécution de forages à des profondeurs variables selon les régions ; 100 à 250 à El-Menia, 450 à 500 à Sebseb et Ghardaïa, et de 900 à 1000 m à Zelfana et Guerrara. La wilaya de Ghardaïa est exploitée 799 forages qui exploitent la nappe pour différents usages comme l'irrigation, l'industrie, ou l'alimentation en eau potable (AEP) [42].

Tableau 8 : Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation [42].

Désignation	Exploité	Non Exploité	Totaux
Forage AEP	129	42	171
Forage Irrigation	439	167	606
Forage Industrie	18	4	22
Totaux	586	213	799

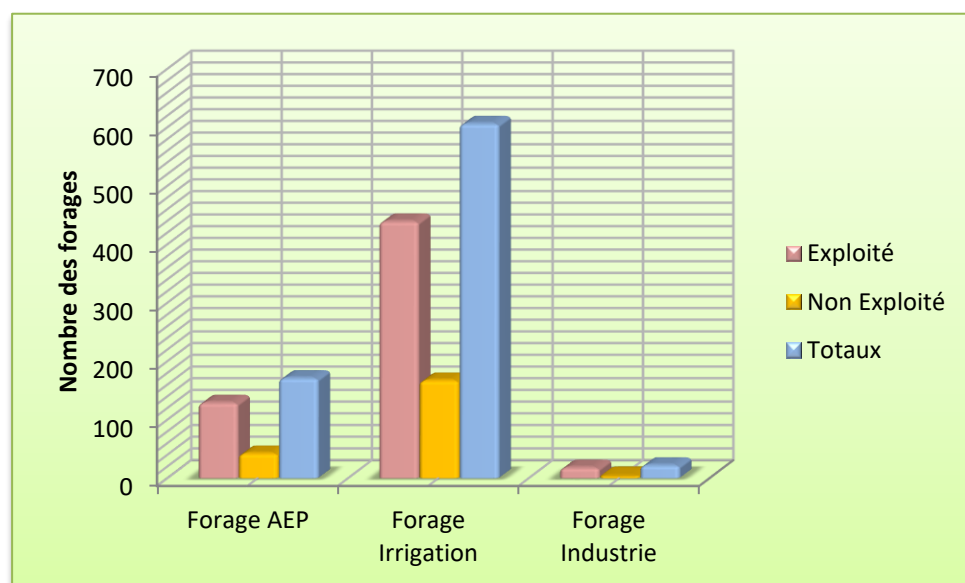


Figure 10 : Etat des forages du CI inventoriés.

II.4.1.3. Distribution des forages du CI dans la région de Ghardaïa :

Les cartes suivantes montrent la répartition des forages dans la région de Ghardaïa :

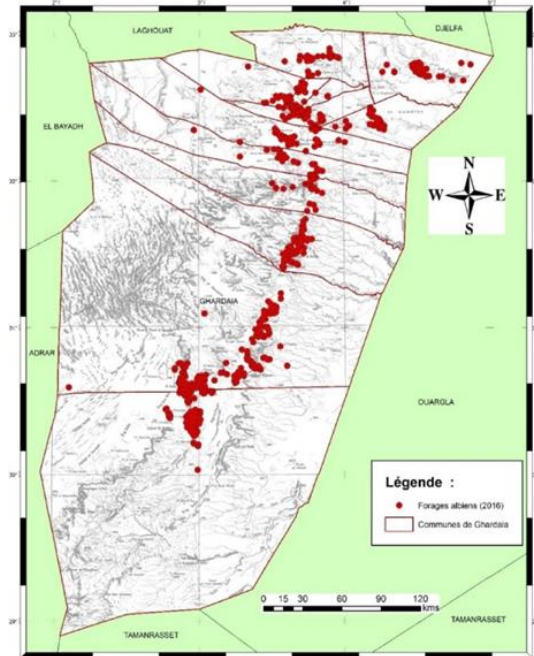


Figure 11 : Inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa [42].

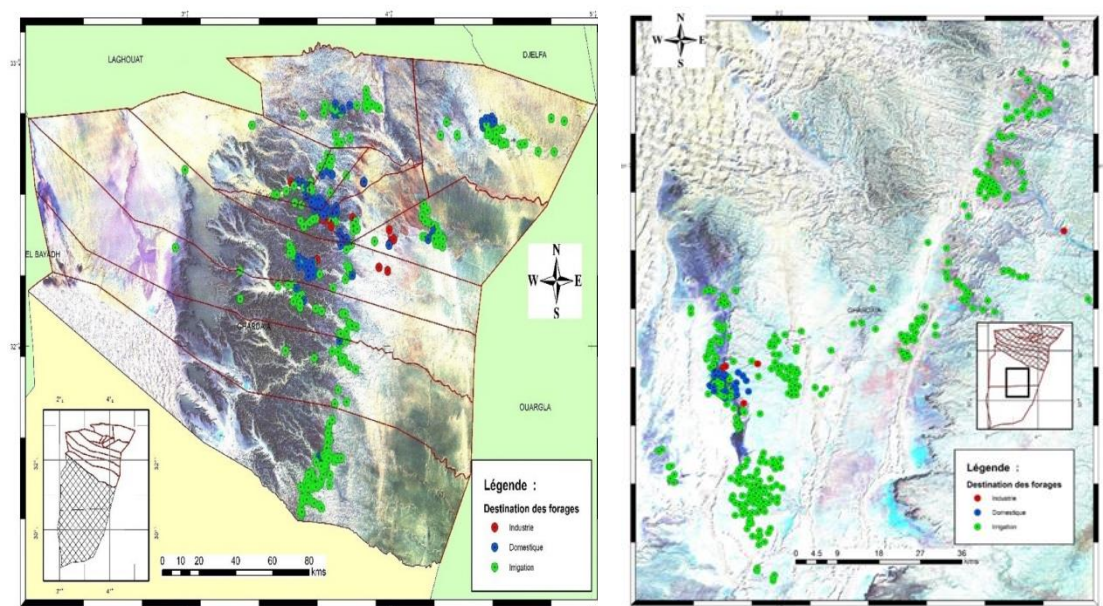


Figure 12 : Inventaire des forages d'eau au Nord et au sud la région de Ghardaïa [42].

II.4.1.4. Exploitation du CI dans la région de Ghardaïa :

Selon les données de NARH et des différents services qui gèrent l'eau ; la Direction des Services Agricole (DSA), la Direction des Ressources en Eau (DRE), l'Algérienne des Eaux (ADE), montrent que le volume d'eau exploité de la nappe de CI est passé de 186,5 Hm³ en 2005 puis en 2011 de 367,47 Hm³, 419,76 Hm³ en 2016, pour atteindre 531,76 Hm³ soit 531,76 Millions de m³ d'eau soutiré annuellement de la nappe en 2018 [42].

Tableau 9: Evolution du volume d'exploitation des eaux du continental intercalaire par usage [42].

Usage	Volume d'eau exploité (hm ³ /an)			
	2005	2011	2016	2018
AEP	43,49	58,74	68,5	83,97
IRR	137,02	302,02	344,33	440,69
AEI	5,99	6,71	6,93	7,1
Totaux	186,5	367,47	419,76	531,76

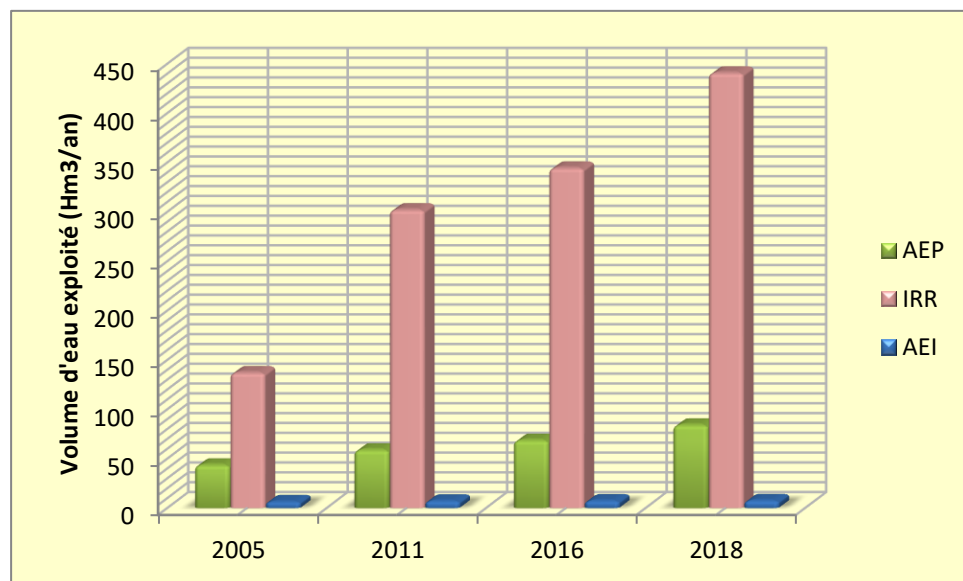


Figure 13 : Evolution du volume d'exploitation des eaux du continental intercalaire par usage.

II.4.1.5. Piézométrie du CI dans la région de Ghardaïa :

Le niveau piézométrique d'une nappe d'eau souterraine représente la hauteur du plan d'eau de cette nappe par rapport au niveau de la mer. Tandis que le niveau statique représente la profondeur mesurée dans le forage entre le niveau du sol et le plan d'eau dans ce forage.

L'étude piézométrique du CI dans la région de Ghardaïa permet de connaître dynamique des eaux souterraines, le sens d'écoulement, le gradient hydraulique, ainsi que les zones d'alimentation [42].

Piézométrie du CI de l'année 2010 :

La carte piézométrique réalisée en 2010 confirme l'écoulement général de la nappe du continentale intercalaire , elle est de direction Nord-Ouest vers le Sud-est, parfois elle est troublé par dépressions piézométriques qui sont situées dans les centres urbains et les zones agricoles de la région de Ghardaïa, causée par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation [42].

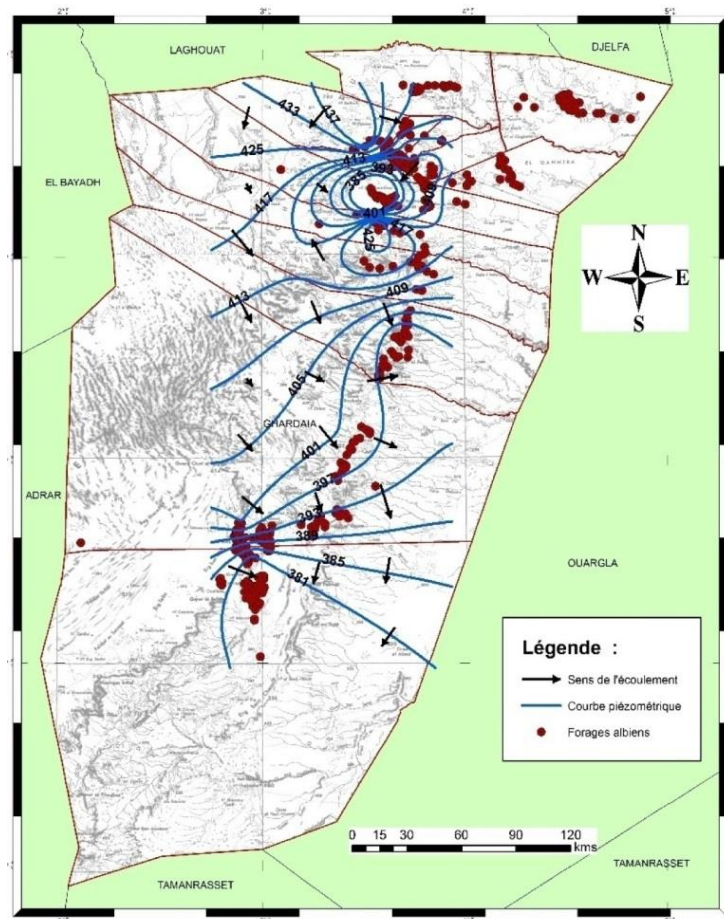


Figure 14 : Carte piézométrique de la nappe du continental intercontinental dans la région de Ghardaïa (année 2010) [42].

Piézométrie du CI de l'année 2018 :

Une carte réalisée sur la base de la campagne piézométrique qu'effectuée en mois de mars 2018. La carte piézométrique montre la même allure que la carte piézométrique de 2010, le sens d'écoulement est de direction Nord-Ouest vers le Sud-est, avec des perturbations de l'écoulement au niveau des centres urbains et les zones agricoles, causée par une forte exploitation de la nappe de CI pour l'AEP et pour l'Irrigation. En plus le niveau piézométrique a diminué dans toute la région de Ghardaïa avec la création des nouveaux périmètres irrigués [42].

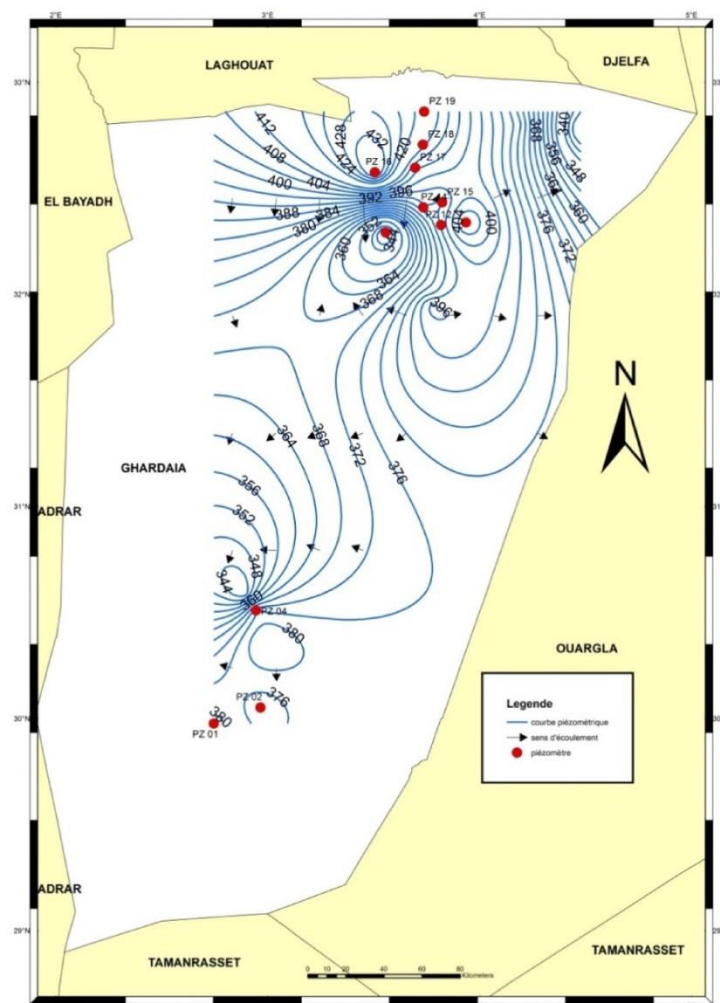


Figure 15 : Carte piézométrique du continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (mars 2018) [42].

Evolution piézométrique entre l'année 2010 et 2018 :

La carte de différence piézométrique entre les périodes 2010 et 2018. Montre que le niveau a baissé sur l'ensemble de la région de Ghardaïa surtout dans la partie Nord de Ghardaïa, elle est provoquée par une forte exploitation. Dans les zones urbaines les forages de l'AEP sont exploités pendant 20 heures par jour sur toute l'année pour satisfaire la demande sur l'eau par population. Dans la partie Sud de la région de Ghardaïa, la baisse de niveau piézométrique est faible [42].

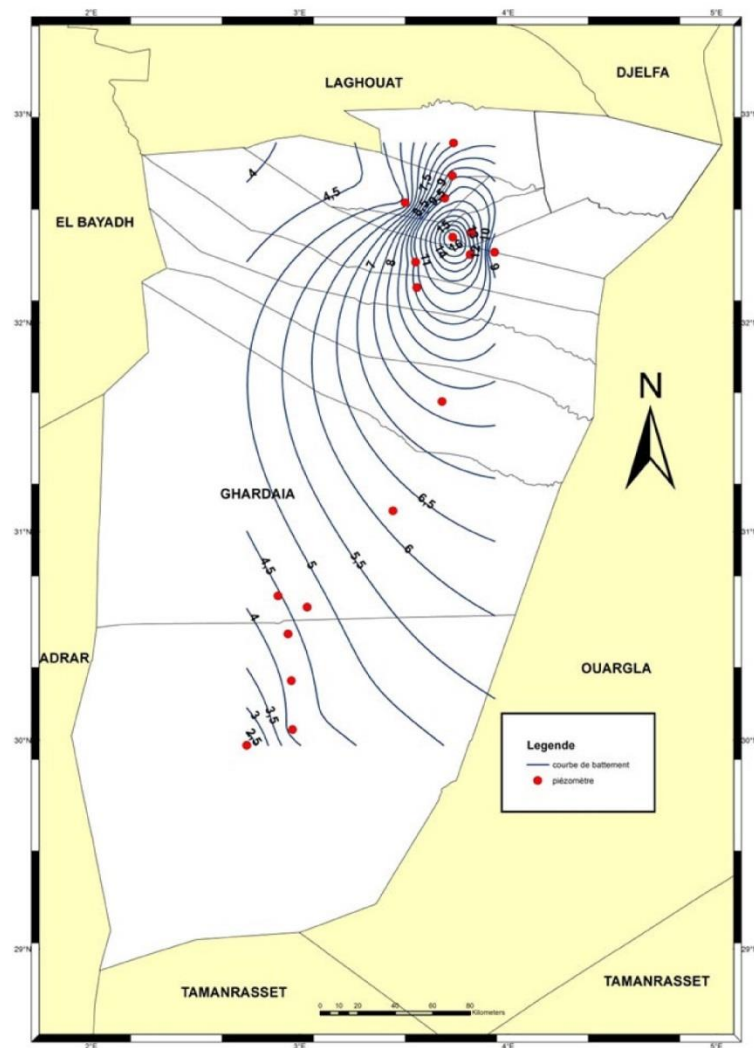


Figure 16 : Carte de l'évolution piézométrique de la nappe du continental intercalaire dans la région de Ghardaïa (période 2010-2018) [42].

II.4.2. Nappe du complexe terminal (C.T) :

Le terme du Complexe Terminal (CT) désigne l'ensemble hétérogène comprenant les formations carbonatées du Crétacé supérieur et les dépôts gréseux du Tertiaire, principalement du Miocène.

Le Complexe Terminal couvre la majeure partie du bassin (350,000 km²) et comprend plusieurs aquifères d'âges géologiques différents. Les eaux souterraines peuvent s'écouler dans l'une des deux formations rocheuses suivantes :

- Le Sénonien et l'Éocène carboné
- Les sables du Mio-pliocène

Les eaux souterraines de l'aquifère du CT est plus minéralisées que celles du CI et la sa minéralisation varie selon l'emplacement. Il augmente progressivement le long des lignes de flux de 2 g/L à 7g/L, et les espèces chimiques les plus dominantes sont : SO_4^{2-} , Cl^- and Na^+ [43].

La région de Ghardaïa est caractérisée par l'absence de la nappe du complexe terminal (CT).

II.5. Situation hydrographie :

La région de Ghardaïa se caractérise par les Oueds sont :

II.5.1. Oued Metlili :

Le bassin du Metlili, enserré dans une oasis du même nom, ne dépasse pas 400 km². Comme les précédents, il est faiblement limité dans sa partie orientale, appartient au domaine continental pliocène, en raison des caractéristiques très particulières de cet étage géologique sous cette latitude. D'une longueur totale de 214 km, l'O. Metlili est bloquée à 134 km de son origine par la ceinture dunaire de l'Areg Rhanem. Plus en aval, son lit est parsemé de daïas qui absorbent une partie des eaux de ruissellement dont la plus importante est la Daïa Ghemta [44].

II.5.2. Oued M' Zab :

La superficie du bassin du M'Zab est d'environ 5000 km² environ. Ses contours sont imprécis dans la partie orientale. Cette zone est Limitée à Ghardaïa, point le plus bas

généralement atteint par les crues, cette superficie se réduit à 1500 km². L'Oued. M'Zab coule en grand partie d'ouest en est sur 320 km depuis la zone de Bohna Rouila. À 750 m d'altitude (où il prend sa source sous le nom de vallée. El Abiod), à la Sebket Safioune qui est à la cote 107 m [44].

II.5.3.Oued N'ssa :

Le bassin d'EL-NIssa, est situé au sud du bassin précédent, et sa superficie d'environ 7800 km² environ ; les limites orientales est imprécise en raison de la nature géologique de la région. L'artère principale, d'une longueur de 320 km, part de la région de Tilrempt, vers 750 m d'altitude, pour aboutir à la Sebket Safioune, au N d'Ouargla, à la cote 107m [44].

II.5.4.Oued Zegrir :

Limité à la hauteur de Guerrara, ce bassin couvre une superficie de 4100km². Il est localisé majoritairement dans les affleurements du Miocène et du Pliocène, continentaux, il est parsemé de nombreuses daïas, parfois drainées par des vallées. Ces derniers, par suite des phénomènes karstiques qui se produisent dans ces régions, disparaissent souvent avant d'atteindre leurs confluent avec le Zegrir ou son prolongement, le Zgag. Les limites N et S sont, de ce fait, peu précises. La longueur de l'artère maîtresse, en prenant pour origine la tête de l'O. Ajerma, atteint 270 km à la Daïa ben Feïlah, qui est la limite naturelle grande crue. Si l'on tient compte des écoulements exceptionnels qui empruntent la vallée de l'oued Zgag, alors ce débit atteint près de 300Km [44].

Conclusion :

La Wilaya de Ghardaïa couvre une superficie de 8466012 km^2 soit une densité de peuplement de 557 *habitants/km²* par commune. La population de la Wilaya est constituée de 50,94 % d'hommes et de 49,06 % de femmes.

Le climat dominant est un climat désertique caractérisé par des hivers courts et rigoureux et des étés longs et chauds. Les températures sont très élevées peuvent dépassées 40 degrés en été.

La principale ressource hydrique exploité dans les régions de Ghardaïa est la nappe souterraine ont pour origine deux nappes principales :

- Nappe du continental intercalaire (C.I).
- Nappe phréatique.

La région de Ghardaïa est suivie d'un vaste réseau de vallés dont les plus importantes sont Oued Zegrir, Oued Metlili, Oued N'Sa, et oued M'Zab, toutes ces vallées forment le bassin versant de la dorsale du M'Zab.

DEUXIEME PARTIE
PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE III
MATERIELS ET METHODES

Introduction :

Dans ce chapitre, nous avons réalisés un ensemble d'analyses physico-chimiques et microbiologiques des eaux souterraines pour 28 points dans différentes communes de la wilaya de Ghardaïa, ou nous avons présentés toutes les méthodes depuis le prélèvement de l'échantillon jusqu'à l'obtention des résultats.

La partie expérimentale de ce travail a été réalisée au niveau de laboratoire de l'algérienne des eaux (A.D.E) unité de Ghardaïa.

III.1.Echantillonnage de l'eau :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est un processus délicat à laquelle le plus grand soin doit être apporté ; il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (gaz dissous, matières en suspension, etc.). Puisque dans la plupart des cas le responsable du prélèvement n'est pas l'analyste, il convient que le préleveur doit avoir une connaissance précise des conditions d'échantillonnage et de leur importance pour la qualité des résultats analytiques [26].

En général, il est nécessaire de mettre en place une organisation structurée, qui a un personnel qualifié, pour développer une méthodologie adaptée à chaque cas, de procéder à un choix judicieux des points de prélèvements et utilisation d'équipements appropriés. Les erreurs susceptibles de rendre difficile l'interprétation des résultats sont plus souvent liés à un échantillonnage non satisfaisant qu'à des erreurs analytiques proprement dites. En pratique, le préleveur évitera de constituer un échantillon moyen s'étalant sur plus de 24hr [8].

Concernant ce travail, Les échantillons des eaux de puits ont été prélevés à partir de différentes communes de la wilaya de Ghardaïa (28 échantillons) destinés aux analyses physico-chimiques et bactériologiques effectuées au niveau de laboratoire de (ADE) Ghardaïa pendant le mois décembre 2021.

III.2.Mode de prélèvement :

Le mode de prélèvement variera suivant l'origine de l'eau aussi suivant la nature des analyses « physico-chimiques ou bactériologique » [10]. Dans notre travail, les échantillons sont prélevés à partir de robinets spéciaux pour prélever de l'eau de forage, et le processus suit les étapes suivantes :

<p>Utiliser des bouteilles stériles fournies par le laboratoire et laisser couler l'eau du robinet grand ouvert pendant au moins 30 secondes avant de prélever l'échantillon, ou pendant deux ou trois minutes, selon la longueur de la conduite d'eau.</p>	
<p>Ensuite on lave le flacon plusieurs fois puis on prélève l'échantillon et fermer bien la bouteille pour éviter la contamination, les flacons sont étiquetés systématiquement en montrant plusieurs paramètres sont relevés sur site: l'origine de l'eau, l'adresse, lieu du prélèvement et la date de prélèvement.</p>	
<p>Les échantillons sont placés dans des glacières et envoyer l'échantillon rapidement au laboratoire.</p>	

III.3. Conservation des échantillons :

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire. Cette étape est nécessaire car plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses qui représentent le plus fidèlement possible les conditions du cours d'eau, une conservation physique ou chimique des échantillons doit être effectuée [45].

III.3.1. Principaux renseignements à fournir pour une analyse d'eau :

1. Identité du préleveur.
2. Date et heure du prélèvement.
3. Particulier ou autorité demandant l'analyse.
4. Motif de la demande (analyse initiale, contrôle périodique, pollution intoxication, épidémie...).
5. Usage de l'eau (boisson, lavage, abreuvement, industrie...).
6. Ville ou établissement que l'eau alimente.
7. Nom du point d'eau et localisation précise.
8. Origine de l'eau (source, puit, forage, rivière...).
9. Température de l'eau et celle de l'atmosphère (conditions météorologiques).
10. Débit approximatif (*litre/minute*).
11. Nature géologique des terrains traversés [10].

Tableau 10 : Modes de conservation des échantillons d'eaux potables [10] :

Paramètre	Nature du flacon	Technique de conservation	Temps maximum de conservation	Observation
Température	PE ou Verre	-	-	Mesure sur place de préférence
Conductivité	PE ou Verre	2 à 5 °C	24 heures	Mesure sur place de préférence
pH	PE ou Verre	-	6 heures	Mesure sur place de préférence
Turbidité	PE ou Verre	-	24 heures	Mesure sur place de préférence
Couleur	PE ou Verre	2 à 5 °C	24 heures	Mesure sur place de préférence
Nitrites	PE ou Verre	2 à 5°C	-	Mesure le plutôt possible
Nitrates	PE ou Verre	pH < 2 et 2 à 5°C	24 heures	-
Phosphates	PE ou Verre	2 à 5°C	24 heures	Mesure le plutôt possible
Alcalinité	PE ou Verre	2 à 5°C	24 heures	Mesure le plutôt possible
Calcium	PE ou Verre	pH < 2	1 mois	-
Chlorures	PE ou Verre	-	1 mois	-
Sulfates	PE ou Verre	2 à 5 °C	1 semaine	-

PE : polyéthylène .

III.4.Choix des points de prélèvement :

Les points de prélèvement sont situés dans différentes communes de la wilaya de Ghardaïa :

Tableau 11: Les points de prélèvement et les coordonnées des puits.

Points d'eaux	Communes	Nom	Coordonnées		
			X	Y	Z
P1	Ghardaïa	Tidefte RTA N°3	03°40'09''	32°28'53''	560
P2	Ghardaïa	Hai EL Modjahidine	03°40'39''	32°29'20''	500
P3	Ghardaïa	BEN SMARA N°1	03°39'45''	32°29'51''	515
P4	Ghardaïa	OUED NECHOU2	03°43'51''	32°36'17''	561
P5	Bounoura	BOUNOURA zouil	03°42'01''	32°29'26''	500
P6	Bounoura	Telat	03°41'18''	32°27'34''	548
P7	Bounoura	Belvidère	03°42'28''	32°27'48''	556
P8	Atteuf	HAMRAYET	03°45'03''	32°29'29''	564
P9	Atteuf	EL ATTEUF (AOULAOUNE)	03°44'25''	32°26'35''	458
P10	Atteuf	EL ATTEUF 100LOGEMENTS	03°43'12''	32°28'18''	469
P11	Daia	SIDI M'HAMMED	03°36'45''	32°32'00''	528
P12	Daia	Chaabat el hamra	03°35'01''	32°34'31''	546
P13	Daia	BOUBRIK	03°36'26''	32°33'54''	536
P14	Metlili	METLILI N°2 (hadika)	03°36'13''	32°17'29''	518
P15	Metlili	TIMEKRAT	03°36'45''	32°15'59''	518
P16	Metlili	METLILI N°9 souani	03°36'10''	32°16'47''	517
P17	Sebseb	CHAAB EL ARGOUB	03°34'58''	32°10'47''	486
P18	Sebseb	HAY EL BORDJ	03°35'58''	32°09'32''	471
P19	Sebseb	SEBSEB N°4 Fard	03°33'24''	32°10'21''	481
P20	Mansoura	ZAOUI	03°31'45''	31°57'07''	457
P21	Mansoura	mansoura ancien	03°34'48''	31°56'48''	447
P22	Berriane	BERRIANE CHIKH AMER N°1	03°46'50''	32°49'57''	573
P23	Berriane	SIDI AEK	03°45'34''	32°50'03''	530
P24	Guerrara	S'HANE	04°30'49''	32°47'11''	346
P25	Guerrara	RAHMANIYATE	04°28'11''	32°46'24''	325
P26	Guerrara	SIDI BELKHEIR	04°28'37''	32°47'18''	333
P27	Zelfana	ZELFANA F04	04°13'17''	32°23'40''	354
P28	Zelfana	ZELFANA N°24 Modjahidin	04°14'11''	32°23'47''	355

III.5. Les paramètres d'analyse d'eau :

Les analyses ont été réalisées au sein du laboratoire d'Algérienne Des Eaux (A.D.E) de Ghardaïa, les paramètres d'analyse d'eau sont :

Tableau 12 : les paramètres d'analyse d'eau.

Les paramètres physiques	Les paramètres chimiques		Les paramètres bactériologiques
	Minéralisation Globale	Paramètres indésirables et de pollution	
La température pH Conductivité Turbidité T.D.S Salinité	Dureté Totale (TH) Titre alcalin complet (TAC) Bicarbonate (HCO_3^-) Calcium (Ca^{2+}) Magnésium (Mg^{2+}) Sodium (Na^+) Potassium (K^+) Chlorures (Cl^-) Sulfate (SO_4^{2-})	Ammonium (NH_4^+) Nitrate (NO_3^-) Nitrite (NO_2^-) Ortho-phosphate (PO_4^{3-}) Fer (Fe^{2+})	Coliformes totaux <i>Escherichia coli</i> <i>Streptocoque fécaux</i> Spores A.S.R

III.5.1. Analyse physico-chimiques et microbiologiques :

III.5.1.1. Mesure des paramètres physiques :

La température (T):

La mesure de la température a été effectuée sur le terrain. Cette dernière mesure doit s'accompagner des précautions habituelles en évitant le rayonnement direct du soleil et l'influence de la chaleur dégagée par l'opérateur [26].

- **Mode opératoire :**

- La mesure de la température a été effectuée en plongeant immédiatement le thermomètre dans le flacon d'eau à analyser [26].

Potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH-mètre est l'appareil le plus utilisé pour la mesure du pH.



Figure 17 : pH mètre (HACH, AD 1000)

• Mode opératoire :

- Allumer le pH Mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Rincer l'électrode dans l'échantillon puis lire la valeur du pH directement à température stable [46].
- ❖ Après chaque détermination du pH, on retire l'électrode, on la rince et à la fin de l'expérience, on la laisse tremper dans l'eau distillée.

La Conductivité électrique:

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm . La conductivité électrique a été déterminée par un conductimètre à électrode [46].



Figure 18 : Conductimètre (LF 538).

- **Mode opératoire :**

- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- On rince l'électrode dans la solution de calibration. On taper sur READ, attendre la pipe.
- Le résultat conductivité est donné directement en $\mu S/cm$.
- On rince abondamment l'électrode avec de l'eau distillée après chaque mesure [46].

La salinité, taux de minéralisation total (TDS) :

Pour mesurer ces paramètres, on utilise le même appareil : le conductivité-mètre. L'analyse est effectuée par immersion directe de l'électrode dans les flacons porteurs d'échantillons (sans oublier de rincer rigoureusement l'électrode après chaque mesure). Les résultats sont affichés directement dans l'appareil.

- Salinité (%)
- TDS (mg/l)

La turbidité :

La turbidité d'une eau est réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute. Pour mesurer la turbidité on utilise turbidimètre et de cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm, de diamètre [46].

- **Mode opératoire :**

- Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéiser et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure. La mesure est obtenue directement en *NTU* [46].



Figure 19 : Turbidimètre (HACH, TL2300).

III.5.2. Analyse des paramètres chimiques :**Dosage des cations :****Détermination de l'azote Ammoniacal (NH_4^+):****• Principe :**

- Mesure spectrométrique à environ $655nm$ du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium [26].



Figure 20 : Spectrophotomètre UV- Visible (HACH, ODYSSEY).

• Réactifs :

- Réactif coloré.
- Solution de Dichloroisocyanurate de sodium [47].

• Mode opératoire :

Prélever $40 ml$ d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre :

- $4 ml$ du réactif coloré homogénéisé ;
 - $4 ml$ du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.
- Après au moins $60 mn$, attendre le développement de la couleur [47].

• Expression des résultats :

- ❖ Le résultat est donné directement en mg/l par Spectrophotomètre UV-Visible.

Détermination du Fer :**• Principe :**

- Addition d'une solution de phénantroline-1.10 a une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe rouge- orange à une longueur d'onde de 510 *nm*.
- Le complexe fer (II- phénantroline-1.10 est stable dans l'intervalle de pH de 2.5 à 9 et l'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité du fer [47].

• Réactifs :

- Solution de chlorhydrate hydroxylamine.
- Solution tampon acétate.
- Solution de phénantroline [47].

• Mode opératoire :

- Prendre comme prise d'essai, 50 *ml*.
- Transvaser la solution dans une fiole de 100 *ml*, ajouter 1 *ml* de la solution chlorhydrate hydroxylamine et mélanger soigneusement.
- Ajouter 2.0 *ml* de tampon acétate pour obtenir un pH entre 3.5 et 5.5 de préférence 4.5.
- Ajouter 2.0 *ml* de la solution phénantroline et conserver pendant 15 *min* à l'obscurité [47].

• Expression des résultats :

Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en *mg/l* du Fer.

Dosage de Sodium (Na^+) et de Potassium (K^+) :**• Principe:**

- La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino – terreux. Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc. ...) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions [46].

• Réactifs :

- Acide nitrique.
- Solution étalon de sodium ou de potassium à 1 *g/l*.
- Solution étalon de potassium à 1 *g/l* [26].

- **Mode opératoire :**

Nébuliser l'échantillon dans une flamme air-acétylène en intercalant de l'eau permutée entre chaque solution. Effectuer les lectures au spectromètre de flamme à la longueur d'onde de 589 *nm* pour le sodium et 766,5 *nm* pour le potassium. Régler le zéro de l'appareil avec de l'eau déionisée [26].

- **Expression des résultats :**

- ❖ le résultat est déterminé à l'aide d'une courbe d'étalonnage.



Figure 21 : Spectrophotomètre à flamme (JENWAY, PFP7).

La dureté totale ou degré hydrométrique (TH) :

- **Principe :**

- La dureté totale détermine principalement la concentration en calcium et du magnésium dissous, elle est exprimée en degré Français ($^{\circ}F$) [26].

- **Réactifs :**

- Sel de sodium de mordant noir.
- Solution tampon (pH= 10).
- Solution d'EDTA [47].

- **Mode opératoire :**

Prélever une prise d'essai de 25 ml de l'échantillon et 25ml eau, ajouter 4 ml de la solution tampon (c) et une pincée d'indicateur NET (d). Bien mélanger, la solution doit se colorer en rose. Titrer immédiatement avec la solution d'EDTA (b), en versant lentement jusqu'au virage au bleu.

La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA [47].

- **Expression des résultats :**

$$[TH] = V_{EDTA} * f * 20$$

f : le coefficient de dilution .

V_{EDTA} = volume d'EDTA [47].

Dosage des ions Calcium (Ca^{2+}):

- **Principe :**

➤ Titrage des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le murexide, qui forme un complexe rose avec le calcium. Lors du titrage, l'EDTA réagit avec les ions calcium, l'indicateur vire alors de la couleur rose à la couleur violet [47].

- **Réactifs**

- Hydroxyde de sodium, solution 2 N.
- EDTA solution titrée 0,01 mol/l.
- Murexide (indicateur) [47].

- **Mode opératoire :**

- Prélever 25 ml de l'échantillon et 25 ml d'eau distillée, ajouter 2 ml de la solution d'hydroxyde 2 N et une pincée d'indicateur (Murexide). Bien mélanger le tout.
- Titrer avec la solution d'EDTA, en versant lentement.
- Le virage est atteint lorsque la couleur devient nettement violette.

➤ La couleur ne doit plus changer avec l'ajout d'une goutte supplémentaire de la solution d'EDTA [47].

- **Mesures et calcul du résultat :**

❖ La teneur en calcium, exprimée en mg/l , est donnée par l'équation :

$$C_{Ca^{+2}} = V_{EDTA} * f * 8,016$$

f = Le coefficient de dilution [47].

Dosage des ions Magnésium (Mg^{2+}):

❖ La détermination de Magnésium est donnée par la formule suivante :

$$C_{Mg^{+2}} = 4,86 * (V_{TH} - V_{Ca^{+2}}) * f$$

f = Le coefficient de dilution [47].

Dosage des anions :

Dosage des Nitrites (NO_2^-):

- **Principe :**

➤ Réaction des ions nitrites présents dans une prise d'essai, à pH 1,9 avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide en présence d'aide ortho phosphorique pour former un sel diazoïque qui forme un complexe de coloration rose avec le dichlor-hydrate de N-(naphtyl-1)diamino-1,2 éthane (ajouter avec le réactif amino-4 benzène sulfonamide) mesurage de l'absorbance à 540 nm [47].

- **Réactifs :**

➤ Réactif Mixte [47].

- **Mode opératoire :**

➤ Prendre 50 ml d'eau à analyser.

➤ Ajouter 1 ml du réactif mixte.

➤ Attendre 10mn .

L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^- , Effectuer la lecture à 543 nm [47].

- **Expression des résultats :**

- ❖ Le résultat est donné directement en *mg/l* par Spectrophotomètre UV -Visible.

Dosage des Nitrates (NO_3^-) :

- **Principe :**

- En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique [47].

- **Réactifs :**

- Solution de salicylate de sodium.
- Solution d'hydroxyde de sodium.
- Acide sulfurique H_2SO_4 concentré.
- Tartrate double de sodium et de potassium [47].

- **Mode opératoire**

- Prendre 10 *ml* de l'échantillon à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes de $NaOH$.
- Ajouter 1 *ml* de salicylate de sodium
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C.
- Reprendre le résidu avec 2 *ml* H_2SO_4 laissé reposer 10mn.
- Ajouter 15 *ml* d'eau distillée.
- Ajouter 15 *ml* de tartrate double de sodium et de potassium [47].

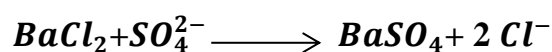
- **Expression des résultats :**

- ❖ Le résultat est donné directement en *mg/l* par spectromètre UV-Visible à une longueur d'onde de 415 *nm* [47].

Dosage des Sulfates (SO_4^{2-}):

- **Principe :**

- Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum suivant la réaction[47]:



- **Réactifs :**
 - Solution stabilisante.
 - Solution de chlorure de baryum ($BaCl_2$) à 0.01N [47].
- **Mode opératoire**
 - Procéder comme décrit à la calibration en effectuant un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai [47].
- **Expression des résultats**
 - ❖ Les résultats sont exprimés en SO_4^{2-} mg/L par Spectrophotomètre UV/Visible.



Figure 22 : Spectrophotomètre UV- Visible (HACH, DR 6000).

Détermination du phosphore (P) et ortho-phosphate (PO_4^{3-}) :

- **Principe :**
 - C'est une réaction des ions ortho-phosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate [47].

Réactif :

- Solution molybdate acide.
- Acide ascorbique [47].

- **Mode opératoire :**

➤ Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2 ml de réactif mélange dans une fiole jaugée de 50 ml. Compléter le volume. Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai [47].

- **Expression des résultats :**

❖ Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV VIS en mg/l.

ortho-phosphate (PO_4^{3-}):

Elle se déduit par l'équation suivant :

$$C_{PO_4^{3-}} = P * 3,006 * f$$

f = Le coefficient de dilution [47].

Détermination des Chlorures (Cl^-):

- **Principe :**

➤ Réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement. Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation [47].

- **Réactifs :**

➤ Solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$).

➤ Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) [47].

- **Mode opératoire :**

➤ Introduire 100 ml de l'échantillon dans une capsule en porcelaine blanche ou dans une fiole ou dans un bêcher conique, placé sur un fond blanc.

➤ Ajouter 1 ml d'indicateur de chromate de potassium (b) et titrer la solution par addition goutte à goutte de solution de nitrate d'Argent jusqu'à ce que la solution prenne une

couleur rougeâtre. Après addition d'une goutte de solution de Chlorure de Sodium cette coloration doit disparaître [47].

- **Expression des résultats :**

$$C_{Cl^-} = \frac{(V_s - V_b) * C * F}{V_a} \times f$$

$F = 35453$.

$C = 0,02$.

f = Coefficient de dilution.

$V_a = 100$.

V_b = volume blanc.

V_s = volume solution [47].

Détermination du titre alcalimétrique complet (TAc) :

- **Principe :**

➤ Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur coloré [26].

- **Réactifs**

➤ Acide chlorhydrique.

➤ Solution de vert de bromocrésol [26].

- **Mode opératoire :**

➤ Dans un erlenmeyer de 250 ml : on prélève 25 ml à analyser 25 ml d'eau distillé, on Ajoute 5 gouttes de solution de vert de bromocrésol et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose [26].

- **Expression des résultats :**

$$TAc = V_{HCL} * f * 12.2$$

V_{HCL} = volume de HCl.

f = coefficient de dilution [26].

Détermination du résidu sec:**• Principe :**

- Evaporation au bain d'eau bouillante d'un volume d'eau choisie en fonction des quantités de matières fixes présentes, dessiccation à l'étuve à température donnée et pesée du résidu [47].

• Mode opératoire :

- Nettoyer la capsule à l'acide chlorhydrique (HCl) ou à l'acide nitrique (HNO_3^-) dilués au dixième environ et tièdes, puis à l'eau distillée. La sécher par passage à l'étuve, puis la calciner dans le four réglé à $525^\circ C$. Laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante puis placer dans un dessiccateur pendant $\frac{1}{4}$ d'heure environ et peser. Soit M_0 la masse de la capsule vide.
- Faire évaporer progressivement au bain d'eau bouillante la prise d'essai introduite, éventuellement en plusieurs fractions successives, dans la capsule : il est recommandé de ne remplir celle-ci que jusqu'à mi-hauteur, vers la fin de l'opération, rincer à l'eau distillée la fiole jaugée qui a servi à mesurer la prise d'essai et verser les eaux de lavage dans la capsule. Une fois l'eau évaporée, placer la capsule dans l'étuve, réglée à $100-105^\circ C$ et l'y laisser pendant 1 heure.
- **Si l'essai a pour objet la détermination du résidu sec à $100-105^\circ C$** laisser refroidir la capsule et son contenu presque jusqu'à la température ambiante, pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant $\frac{1}{4}$ d'heure environ et peser. Recommencer le cycle chauffage à $100-105^\circ C$ – refroidissement- pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de $0,5mg$. Soit M_1 la masse trouvée.
- **Si l'essai a pour objet la détermination du résidu sec à $175-180^\circ C$** poursuivre la dessiccation en plaçant la capsule pendant deux heures dans l'étuve à $175-180^\circ C$ puis la laisser refroidir presque jusqu'à la température ambiante pour la placer ensuite dans un dessiccateur pendant $\frac{1}{4}$ d'heure environ et peser. Recommencer le cycle chauffage à $175-180^\circ C$ - refroidissement- pesée jusqu'à ce que deux pesées consécutives ne diffèrent pas de plus de $0,5mg$. Soit M_2 la masse trouvée [47].

• Expression des résultats :

V = Le volume, en millilitres, de la prise d'essai.

M_0 = La masse, en milligramme de la capsule vide.

M_1 = La masse, en milligrammes, de la capsule et de son contenu après étuvage à 100-105°C.

M_2 = La masse en milligramme, de la capsule et de son contenu après étuvage à 175-185°C.

Les résultats sont donnés en mg/l [47].

Le résidu sec à 100-105°C, exprimé en milligrammes par litre, est donné par l'expression :

$$(M_1 - M_0) * 1000 / V$$

Le résidu sec à 175-185°C, exprimé en milligramme par litre, est donné par l'expression [47].

:

$$(M_2 - M_0) * 1000 / V$$

III.6.3. Analyses bactériologiques :

L'analyse bactériologique a pour but la recherche et le dénombrement des germes existant dans les échantillons d'eau à analyser. Un examen bactériologique doit être effectué sur échantillon prélevé correctement dans un récipient stérile, selon un mode opératoire précis évitant toutes les contaminations accidentelles, correctement transporté au laboratoire et analysé sans délai ou après une courte durée de conservation dans des conditions satisfaisantes [26].

L'analyse complète de l'eau de consommation humaine se base sur la recherche et le dénombrement des paramètres qui sont de bons indicateurs de la pollution de l'eau, qui sont :

- Les Coliformes totaux et fécaux.
- Les Streptocoques fécaux.
- Les Spores de bactéries anaérobies sulfite-réductrices.

Le dénombrement des germes se compose de deux méthodes : méthode solide (par filtration) et liquide (en tubes), Le tableau suivant montre les avantages et les inconvénients de chaque méthode :

Tableau 13 : Avantages et inconvénients de la technique par filtration et la méthode en tubes [48].



	Méthode par filtration	Méthode en tubes
Avantages	Facteur temps: Rapide	Fiable
	Économique	Eau chargée
	Espace étuve	Sensible
	Exactitude des résultats	
Inconvénients	Investissement de départ : Coûteux	Aléatoire



La méthode utilisée par le laboratoire de l'algérienne des eaux A.D.E unité de Ghardaïa est la méthode par filtration.

Recherche et dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries Coliformes:

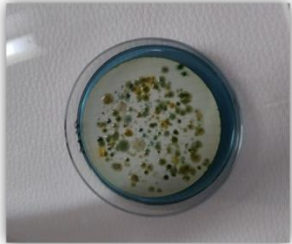
• **Mode opératoire.**

- La recherche des bactéries coliformes par filtration sur membrane nécessite une préparation au préalable, qui se déroule selon les étapes suivantes :

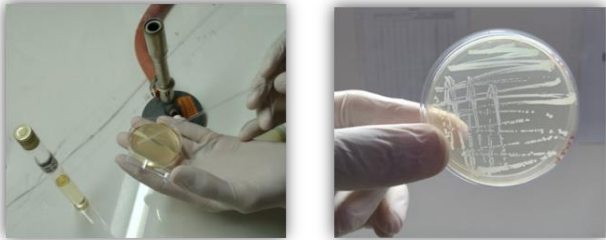
<p>D'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable et la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen et les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser ou bien avec de l'eau distillée stérile [49].</p>	
<p>Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45 μ entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile et fixer ce dispositif avec la pince correspondante et déposer ensuite aseptiquement 100 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux à analyser, devant un bec bunsen [49].</p>	

<p>Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane [49].</p>	
<p>Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC Tergitol préalablement préparée. Cette dernière sera incubée couvercle en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures voire 44 ± 4 heures et servira à la recherche des bactéries coliformes [49].</p>	

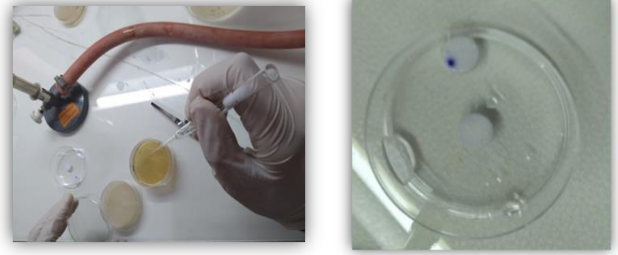
Lecture et interprétation :

<p>Après la période d'incubation spécifiée, dénombrer les colonies caractéristiques qui se présentent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentés en jaune orangé ou en jaune (lactose positives) [49].</p>	
--	---

❖ *Test à l'oxydase.*

<p>Pour les besoins de ce test, effectuer tout d'abord un repiquage sur gélose tryptonée au soja (TSA) à la caséine de 5 à 10 colonies, à incuber à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 21 ± 2 heures [49].</p>	
--	--

puis Imbibé un disque d'oxydase avec une goutte d'eau distillée stérile puis déposer une colonie caractéristique. la réaction positive est immédiate et se traduit par un virage au bleu violet foncé (oxydase positif) [49].



❖ Test à l'indole :

Transférer chaque colonie caractéristique séparément (5 à 10) dans un tube contenant 3 ml de bouillon au tryptophane. Bien triturer la colonie dans le milieu puis incuber ce dernier à $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures puis rechercher la production d'indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kowacs. La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu (indole positif) [49].



Conclusion :

- Toute colonie caractéristique (jaune), dépourvue de l'enzyme oxydase et non productrice d'indole est considérée comme bactérie coliforme.
- Toute colonie caractéristique (rouge), dépourvue de l'enzyme oxydase, mais productrice d'indole à 44°C est considéré comme bactérie *Escherichia coli* [50].

Formule de calcul des *E. coli*:

$$a = \frac{b}{A} C$$

b : nombre de colonies caractéristiques ayant répondu aux critères d'identification.

A : nombre de colonies repiquées.

C : nombre total de colonies dans la boîte.

a : nombre d'*Escherichia coli* dans 100ml [49].

Recherche et dénombrement des Streptocoques :**Mode opératoire :**

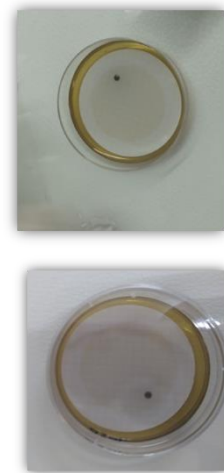
La recherche des entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe « D » par filtration sur membrane avec les mêmes étapes que les coliformes avec le milieu de culture gélose slanetz qui sera incubée couvercle en bas à $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures [49].

**Lecture et interprétation :**




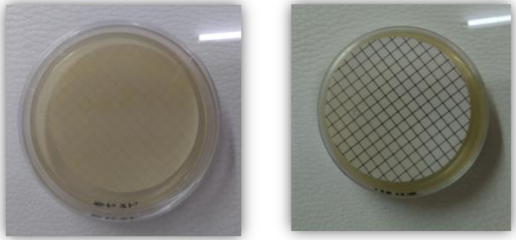
Après la période d'incubation spécifiée, les entérocoques intestinaux ou Streptocoques du groupe « D » apparaissent sous forme de petites colonies lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentées en rouge, marron ou rose.

Transférer aseptiquement la membrane du milieu de Slanetz sur une plaque de gélose Bile esculine azoture (BEA) préchauffée préalablement à 44°C . Cette dernière sera incubée à son tour à $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 2 heures.

Les colonies caractéristiques prennent alors une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu. Compter le nombre de colonies et le rapporter à 100 ml d'eau à analyser [49].

**Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices :****Mode opératoire :**

- La recherche des spores des bactéries anaérobies sulfito-réductrices par filtration sur membrane avec les mêmes étapes que les coliformes et les Streptocoques mais pour ce type en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de $0,2 \mu$ entre la membrane poreuse et l'entonnoir .Ensuite, nous appliquons les étapes suivantes:

<p>Retirer l'entonnoir, enlever la membrane à l'aide de pinces stériles puis la placer dans une boîte de façon à ce que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant les bulles d'air sous le filtre [49].</p>	
<p>Verser par la suite environ 18 ml de gélose viande foie VF, fondue puis refroidie à $47 \pm 1^\circ\text{C}$ [49].</p>	
<p>Remarque : il faudrait au préalable chauffer l'eau à une température de 75°C pendant 15 minutes dans le but d'éliminer les formes végétatives [49].</p>	
<p>Après solidification sur pailleasse, cette boîte sera incubée couvercle en bas à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 20 ± 4 heures puis 44 ± 4 heures [49].</p>	

Lecture et interprétation :

Compter les colonies caractéristiques noires aussi bien après la première période d'incubation soit après 20 ± 4 heures qu'après la seconde période d'incubation soit après 44 ± 4 heures. Rapporter le nombre total de colonies à 100 ml d'eau à analyser [49].

III.7. Evaluation de la qualité des eaux destinées à la consommation humaine :

III.7.1. Les indices d'évaluation de qualité des eaux :

III.7.1.1. La balance ionique :

L'étude de la fiabilité des données a consisté d'une part à une vérification du bilan ionique. Cette vérification a été précédée d'une analyse des ions majeurs impliqués dans l'appréciation du bilan ionique. Sachant que l'analyse chimique de l'eau n'est représentative que lorsque le bilan ionique est inférieur ou égal à 10%, les balances ioniques ont été systématiquement vérifiées pour l'ensemble des échantillons analysés. L'erreur sur la balance ionique (BI) est donnée en pourcentage et calculée par la relation suivante [51] :

$$Bi = \left[\frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \right] \cdot 100$$

Avec :

- Bi : balance ionique exprimée, en % ;
- $\sum \text{Cations}$: somme des concentrations des cations en *még/l*.
- $\sum \text{Anions}$: somme des concentrations des anions en *még/l*.

On peut considérer une analyse comme :

- excellent lorsque $BI \leq 5\%$;
- acceptable lorsque $5\% < BI < 10\%$;
- douteuse lorsque $BI \geq 10\%$ [52].

III.7.1.2. Indice d'échange de base :

L'indice d'échange de base exprimé le rapport entre les ions échangés et les ions de même nature primitivement existants. L'indice d'échange de base est exprimé par la formule suivante :

$$ieb = \frac{\sqrt{Cl^-} - \sqrt{(Na^+ + K^+)}}{\sqrt{Cl^-}}$$

- Si $i e b < 0$ (négatif) : l'encaissant libère les ions de K^+ et Na^+ et fixe les ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau.
- Si $i e b > 0$ (positif): les eaux échangent des ions K^+ et Na^+ contre les ions de Ca^{2+} et Mg^{2+} du terrain encaissant.
- Si $i e b = 0$ donc il y a un équilibre entre les compositions chimiques de l'eau et l'encaissant [53].

III.7.1.3. Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux :

Elle consiste à comparer les concentrations des ions et les valeurs des paramètres physiques à la grille simplifiée pour l'évaluation globale des eaux. Au niveau de cette grille simplifiée, les couleurs bleue, verte, jaune et rouge correspondent respectivement à des classes de qualité European Scientific Journal April 2019 edition Vol.15, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 455 excellente, bonne, moyenne et mauvaise, pour les trois éléments chimiques (CE , Cl , et NO_3^-) qui composent le tableau suivant [54] :

Tableau 14 : Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines [1].

Catégorie de qualité	Paramètres		
	Conductivité électrique ($\mu S/cm$)	Chlorures (mg/l)	Nitrates (mg/l)
Excellente	<400	<200	<5
Bonne	400-1300	200-300	5-25
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100
Très mauvaise	>3000	>1000	>100

III.7.1.4. Indice de qualité des eaux IQE :

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est une expression numérique utilisée pour évaluer la qualité globale de l'eau à partir d'une grande quantité de données et il est facilement compris par les gestionnaires et décideurs. Cet indice est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationales ou nationales. L'IQE résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.).

Cet indice est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré [55-58]. Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (W_i), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :

$$Wi = \frac{K}{Si}$$

Où :

- k : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$K = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/S_i)}$$

- n : nombre de paramètres.
- Si : valeur maximale de la norme standard des eaux étudiées (Norme OMS de qualité des eaux) de chaque paramètre en *mg/l* sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Qi) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :

$$Qi = \left(\frac{Ci}{Si} \right) \cdot 100$$

- Qi : échelle d' évaluation de la qualité de chaque paramètre.
- Ci : la concentration de chaque paramètre en *mg/l*.

Finalement l'indice global de la qualité de l' eau est calculé par l' équation suivante :

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Qi \times Wi}{\sum_{i=1}^n Wi}$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tab.14).

Tableau 15 : Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE [56, 57, 59].

Classe de IQE	Type d'eau	Usage possible
0-25	Excellente qualité	Eau potable ; irrigation et industrie
>25-50	Bonne qualité	Eau potable ; irrigation et industrie
>50-75	Mauvaise qualité	irrigation et industrie
>75-100	Très Mauvaise qualité	irrigation
>100	Eau non potable	Traitement approprié requise avant utilisation

III.7.5. Les faciès chimiques de l'eau :

Il y a plusieurs diagrammes qui déterminent la faciès chimique de l'eau. Nous distinguons Stabler, Piper et Schoeller-Berkaloff.

III.7.5.1. Diagramme de Stabler :

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 [60].

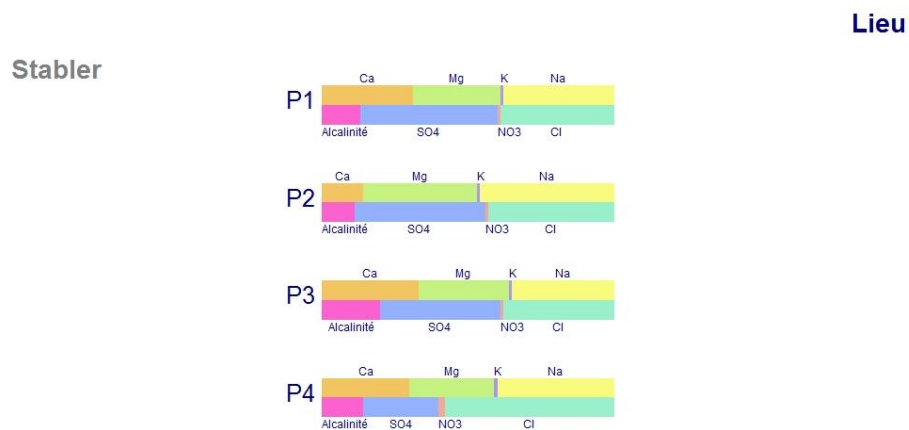


Figure 23 : Diagramme de Stabler.

III.7.5.2. Diagramme de Piper :

Le diagramme de Piper emploie les principaux éléments pour représenter les différents faciès de l'eau souterraine. Le diagramme de Piper permet la représentation des anions et des cations sur deux triangles définis dont les côtés montrent les teneurs relatives de chacun des ions majeurs par rapport à la somme de ces ions (cations du triangle de gauche et anions du triangle de droite). Le diagramme de Piper est bien adapté pour l'étude comparative d'un nombre important d'échantillons [2, 61].

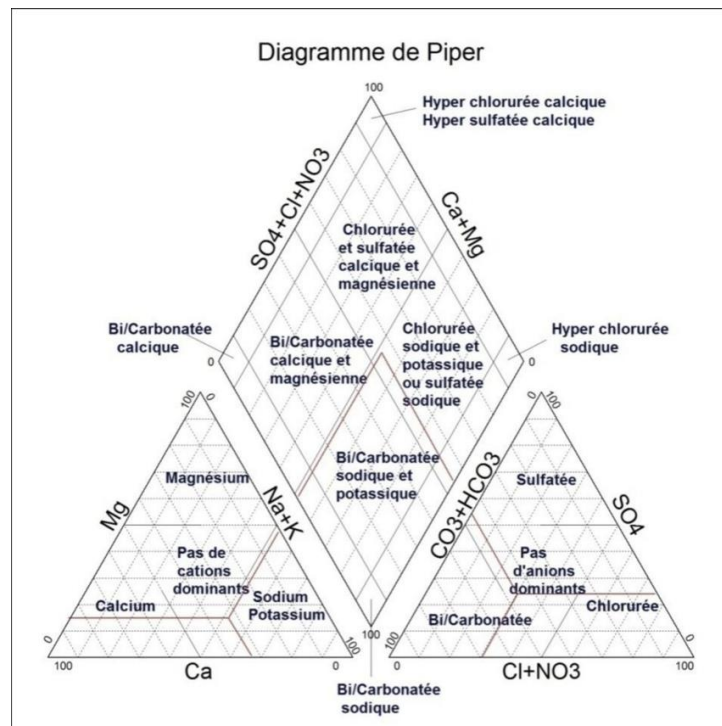


Figure 24 : Diagramme de piper.

III.7.5.3. Diagramme de Schoeller-Berkalof :

Le diagramme de Schoeller est un diagramme semi-logarithmique utilise des concentrations des principaux constituants ioniques dans l'eau (SO_4 , HCO_3 , Cl , Mg , Ca , Na / K) en équivalents par million par kg de solution (mEq / kg). Le diagramme représenté les concentrations de chaque ion dans chaque échantillon par des points sur six lignes équidistantes et les points sont reliés par une ligne [2].

Le diagramme de Schoeller est bien adapté à la comparaison d'échantillons de faciès identique mais différents par leur degré de dilution et permet d'obtenir la qualité chimique des eaux [61, 62].

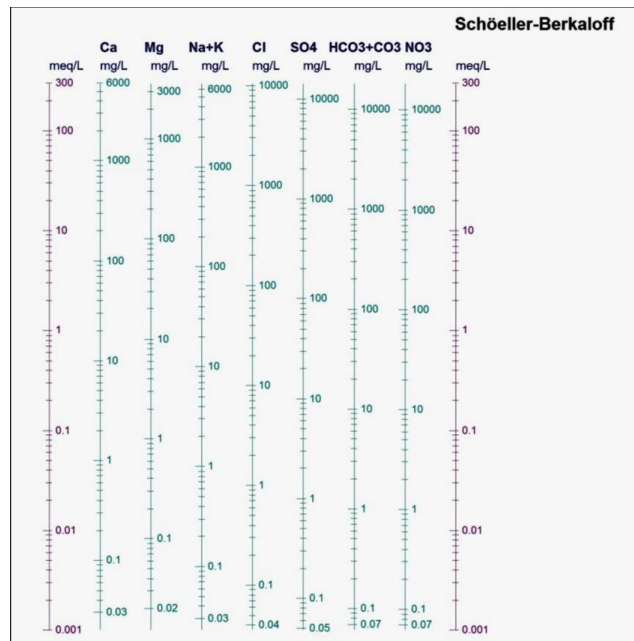


Figure 25 : Diagramme de Schoeller.

III.7.5. Logiciels de traitement des résultats :

Pour interpréter les résultats d'analyses, nous avons utilisé les logiciels suivants :

III.7.5.1. Logiciel diagramme :

Nous avons utilisé le logiciel d'hydrochimie diagramme version 6.48 qui permet de créer en particulier les diagrammes de Piper et Schoeller, et de classer les eaux en faciès chimique et en classe d'eau potable et non potable.

III.7.5.2. Logiciel surfer :

Est un programme de cartographie, de modélisation et d'analyses 2D et 3D conçu pour faciliter la compréhension des données géospatiales. Ce programme permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x, y, z afin de les ordonner [63].

III.7.5.3. Logiciel Arc gis :

Arc gis est l'un des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales [64].

Conclusion :

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques, effectuées au niveau de laboratoire de (ADE) de Ghardaïa ont pour but de suivre l'évolution des paramètres des eaux destinée à consommation humaine. Ces paramètres sont des paramètres physiques (pH, conductivité électrique..etc.), des paramètres chimique qui comprend un ensemble des cation et des anions et des paramètres bactériologiques comme : les coliformes fécaux et totaux.

Les indices, diagrammes et les logiciels sont outils de traitement des résultats et évaluation la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

CHAPITRE IV
RESULTATS ET DISCUSSIONS

Introduction :

La teneur de l'eau en substances indésirables n'est pas toujours le fait de l'activité humaine. Certains phénomènes naturels peuvent également y contribuer. Par exemple, le contact de l'eau avec les gisements minéraux peut, par érosion ou dissolution, engendrer des concentrations inhabituelles des éléments chimiques.

Le présent chapitre est consacré aux résultats obtenus et leurs discussions ; la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et la comparaison avec les normes l'OMS de potabilité ainsi que les classifications des eaux selon les diagrammes et les indices d'évaluation de la qualité des eaux.

IV.1.Répartition spatiale des forges étudiées :

Les échantillons des eaux de puits ont été prélevés à partir de différentes communes de la wilaya de Ghardaïa (28 puits sur 10 communes) répartis comme suit :

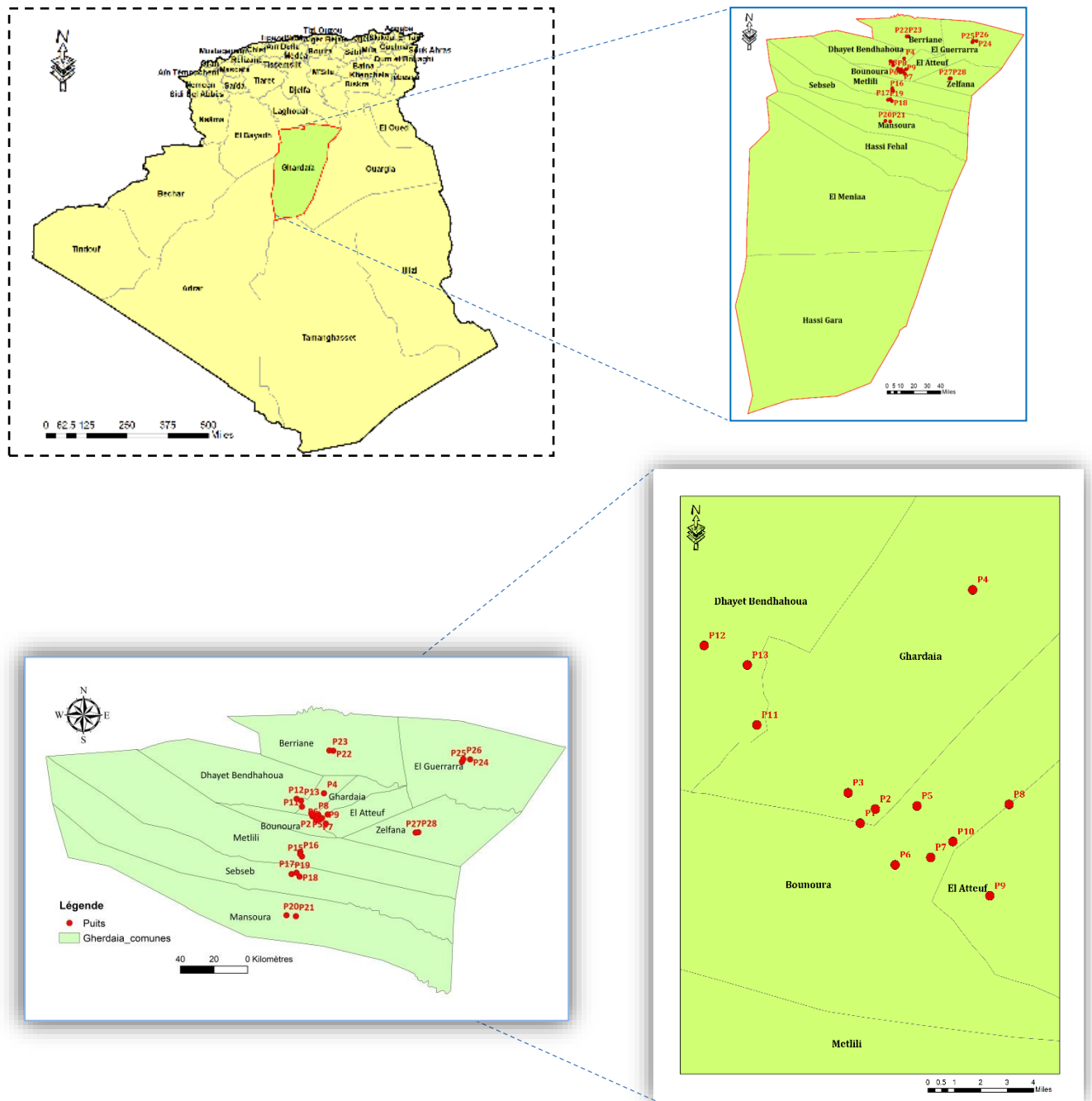


Figure 26 : Carte de répartition spatiale communale des points d’eaux étudiés.

IV.2.Vérification de la fiabilité des résultats d'analyse « La balance ionique» :

La balance ionique établit pour confirmer la fiabilité des analyses des eaux, le graphique (Figure 30) présenté les pourcentages de la balance ionique des eaux de la région de Ghardaïa :

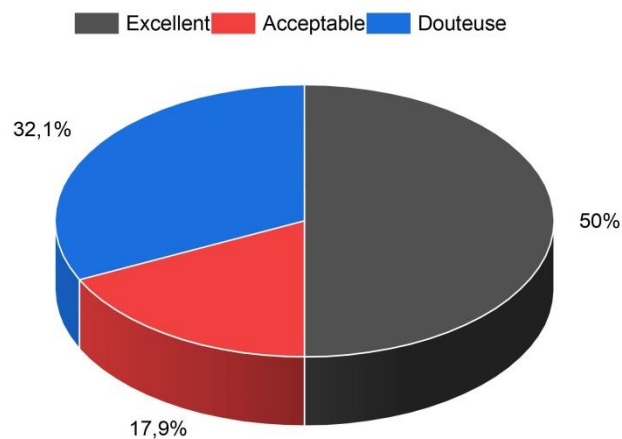


Figure 27 : Pourcentages de la balance ionique des eaux de la région de Ghardaïa.

À partir de graphique nous remarquons que : 50 % des analyses ont une balance ionique excellent, 17,9 % des analyses sont dites acceptables et 32,1% des analyses sont dites douteuse.

IV.3.Analyses statistiques des paramètres physico-chimiques :

Des études statistiques basées sur l'analyse des paramètres descriptifs de séries de valeurs ont été effectuées pour en tirer des informations utiles. Elles ont concerné les valeurs extrêmes (minimum, maximum), la moyenne (valeur centrale), l'écart-type (paramètre de dispersion) et le coefficient de variation (Cv) qui se définit comme le rapport de l'écart-type à la moyenne. Selon la valeur de Cv, trois structures de l'ensemble étudié sont mises en évidence :

- si Cv est inférieur à 0,20, la série est très homogène ;
- si Cv est compris entre 0,20 et 0,25, la série est homogène ;
- si Cv est supérieur à 0,25, la série est hétérogène [65].

Tableau 16 : Caractéristiques statistiques des paramètres physico-chimiques.

		Min	Max	Moy	Ecart-type	Cv	Classe
Paramètres Physiques	T °C	27,6	15,9	22,03	4,25	0,19	Très homogène
	CE (µS/m)	2680	1076	1961,89	444,34	0,23	Homogène
	pH	8,08	7,38	7,66	0,17	0,023	Très homogène
	TDS	1367	612	1035,11	216,6	0,21	Homogène
Cations (mg/l)	Ca ²⁺	178	77	124,63	30,32	0,24	Homogène
	Mg ²⁺	135	40,8	74,14	22,95	0,31	Hétérogène
	Na ⁺	300	75	193,79	58,01	0,3	Hétérogène
	K ⁺	24	6	10,94	5,18	0,47	Hétérogène
Anions (mg/l)	Cl ⁻	525	125	299,93	108,73	0,36	Hétérogène
	SO ₄ ²⁻	623	127	399,11	163,84	0,41	Hétérogène
	HCO ₃ ⁻	370,88	104,92	185,79	57,98	0,31	Hétérogène
	NO ₃ ⁻	36,2	2,09	16,72	8,41	0,5	Hétérogène

Les résultats de l'étude du coefficient de variation des paramètres physico-chimiques ont permis d'évaluer l'homogénéité ou hétérogénéité des différentes données, les paramètres physiques tels que la température et le pH sont très homogène ($CV \leq 0,20$) alors que la TDS et la conductivité sont homogène ($0,20 < CV < 0,25$). La plupart des cations ont un coefficient de variation supérieur à 0,25 qui correspond à hétérogène. Les coefficients de variation des anions sont tous supérieurs à ($CV \geq 0,25$) ce qui traduit une forte hétérogénéité des différentes valeurs de paramètres chimiques. Dans l'ensemble, les paramètres physiques sont plus homogènes que les paramètres chimiques.

IV.4. La potabilité des eaux selon les normes de l'OMS :

La potabilité de l'eau est définie par des paramètres physiques, chimiques et biologiques, Dans notre étude, la potabilité de l'eau a été analysée au regard de l'usage humain par comparaison des teneurs en éléments physiques et chimiques des eaux des différents forages aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé OMS.

IV.4.1. Variations des paramètres physiques (pH, TDS, Turbidité, Conductivité) :

La courbe suivante représente les variations des paramètres physiques selon les normes de potabilité des eaux OMS :

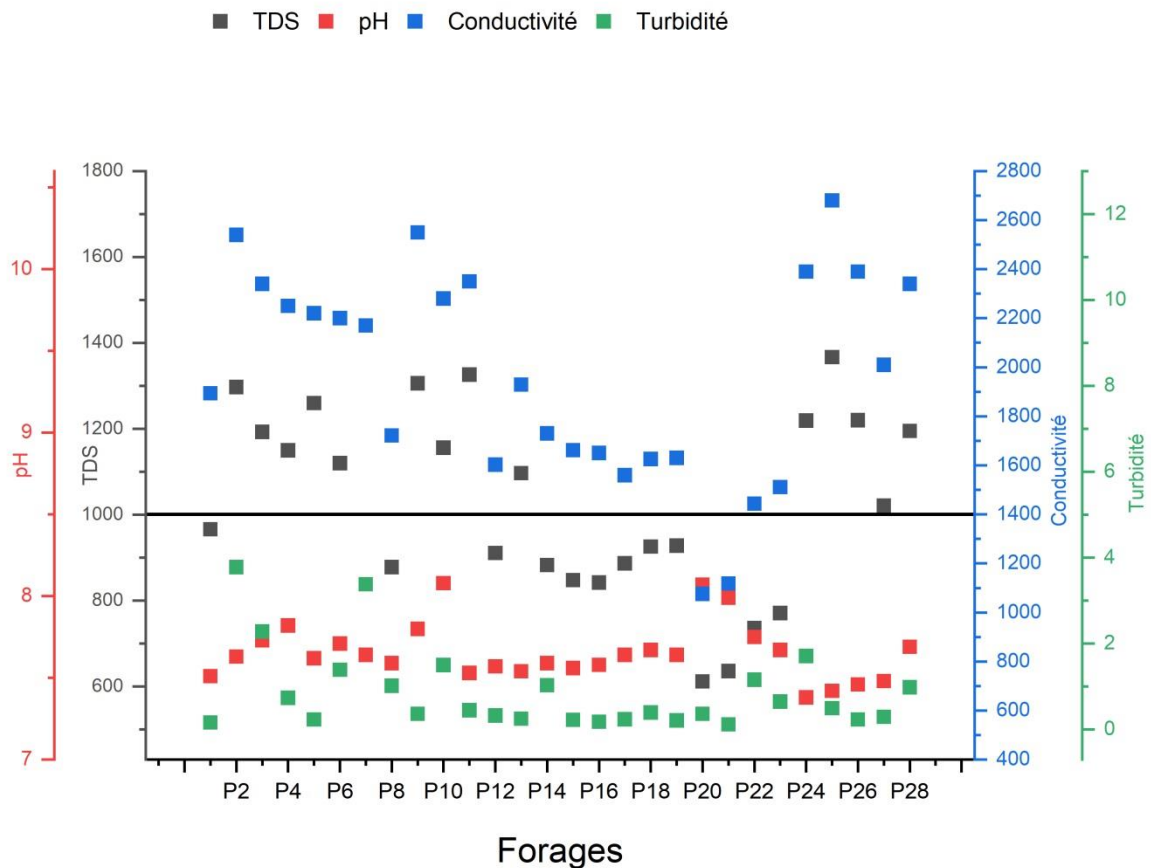


Figure 28 : Variations des paramètres physiques comparés aux normes d'OMS.

IV.4.1.1. pH :

Le pH de l'eau renseigne sur son acidité et son alcalinité [1], les valeurs du pH obtenu par analyse, variés entre 7,38 et 8,08 pour les eaux de la région de Ghardaïa. Ces valeurs sont répondues aux normes de qualité édictées par les normes OMS (6,5 à 8,5).

IV.4.1.2. La conductivité :

La conductivité électrique fait référence à la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. Elle est déterminée par la teneur en substances dissoutes [1].

Selon les directives de l'OMS, la conductivité doit avoir une teneur inférieure à 1400 $\mu S/cm$ dans les eaux destinées à la consommation humaine. Les valeurs de conductivité obtenue par analyse, variés entre 2680 $\mu S/cm$ (Rahmaniyat ; P25) et 1076 $\mu S/cm$ (Zaoui ;

P20). La majorité des puits d'eau 93% des échantillons dépassent la norme recommandée pour les eaux d'alimentation en eau potable.

Ces fortes valeurs sont dues probablement à la dissolution des lentilles gypseuses qui existent au niveau de la nappe [66].

IV.4.1.3.Sels Totaux Dissous :

TDS exprime la dissolution des sels dans les eaux, on remarque à partir de nos analyses que les valeurs de TDS varient entre 612 et 1367mg/l, la plupart des puits dépassé Les normes édictées par la réglementation OMS 1000mg/l, la valeur maximale a été enregistré au puits Rahmaniya (P25) et la valeur minimale dans le puits Zaoui (P20).

La concentration élevée de TDS a causé les valeurs de conductivité élevées, il existe une relation entre elles.

IV.4.1.4.Turbidité :

La réduction de la transparence des eaux par la présence de matières non dissoutes [67]. Les normes édictées par la réglementation OMS dit que la valeur de la turbidité doit être inférieur à 5 NTU.

Les valeurs des turbidités obtenus sont comprises entre 0,121 NTU (Mansoura Ancien ; P21) et 3,78 NTU (Hai El Modjahidine ; P02), comparativement aux normes L'OMS, ces eaux sont conformes aux normes de potabilité. Ce qu'on veut dire les eaux de la région Ghardaïa sont claires et limpides.

IV.4.2. Variations des paramètres chimiques :

IV.4.2.1. Cations Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ :

La courbe suivante représente les variations des cations en comparant avec les normes de potabilité des eaux OMS :

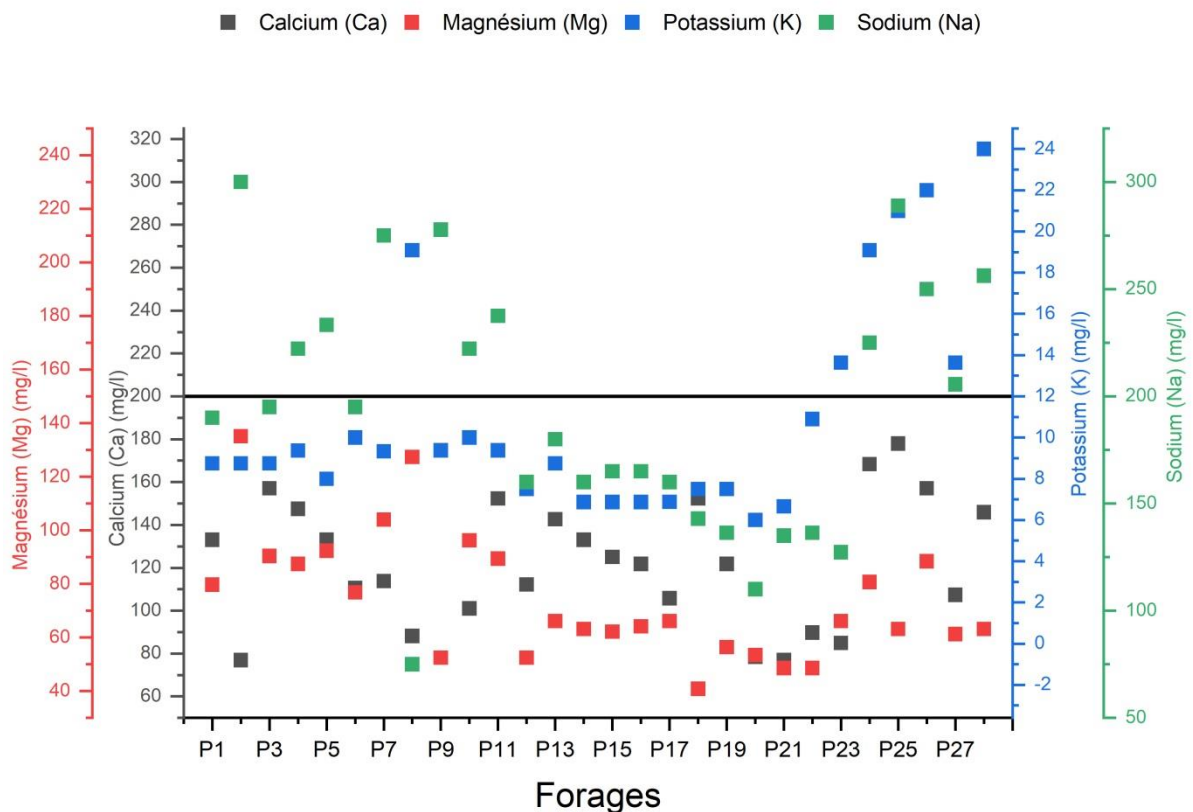


Figure 29 : Variations des cations en comparaison avec les normes d'OMS.

Le calcium :

Le calcium est généralement considéré comme l'élément dominant de l'eau potable ; c'est un composant majeur de la dureté de l'eau [1, 68].

Selon les directives de l'OMS en matière de potabilité des eaux, le calcium doit avoir une teneur inférieure à 200 mg/l dans les eaux destinées à la consommation humaine.

Dans nos points de prélèvements les résultats d'analyse de ce paramètre sont compris entre 76,953 *mg/l* (Mansoura Ancien ; P21) et 177,955 *mg/l* (Rahmaniyat ; P25) .Ces valeurs répondent aux normes de qualité édictées par les normes OMS.

Le magnésium

C'est un élément significatif de la dureté de l'eau, il donne un gout désagréable à l'eau ,la majorité des eaux naturelles contiennent généralement une faible quantité de magnésium [1, 68].

Les teneurs en magnésium pour les eaux analysées dans notre zone d'étude variaient entre 40,824 (Sebseb N°4 Fard ; P18) et 135,108 *mg/l* (Hai El Modjahidine ; P02), ces valeurs sont inférieures à la concentration maximale admissible qui est de 150 *mg/l* présenté par les normes de l'OMS pour l'eau potable.

La dureté totale :

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient [69]. A travers nos résultats tous les puits sont distingués par dureté totale supérieure à 32 °F qui correspond à la classe eau très dure.

Le sodium :

Le sodium est toujours présent dans les eaux naturelles en proportions très variables ; il provient principalement de la filtration des formations riches en *NaCl* [70].

Selon les directives de l'OMS en matière de potabilité des eaux, le norme de sodium dans les eaux destinées à la consommation humaine est 200 *mg/l*.

La concentration de sodium mesurée dans les puits de notre région varie entre 75 *mg/l* (Hamrayet ; P08) et 300 *mg/l* (Hai El Modjahidine ; P02), Les résultats montrent que 12 puits sur 28 ont dépassé la norme approuvée par l'Organisation mondiale de la santé. Cette élévation de concentration est liée à la nature géologique des terrains traversés riches en sels minéraux de *NaCl* [70].

Le potassium :

Le potassium se trouve à des concentrations plus faibles dans l'eau par rapport aux autres éléments [28]. Les normes édictées par la réglementation OMS en matière de potabilité de l'eau recommandent une concentration de potassium qui est inférieure à 12 mg/l.

Les résultats obtenus lors des analyses des échantillons d'eau de la zone d'étude varient entre 6 mg/l (Zaoui ; P20) et 24 mg/l (Zelfana N°24 Modjahidine, P28). Les résultats montrent que la majorité des puits respectaient les normes approuvés, à l'exception de 7 puits sur 28 sont dépassée les normes OMS, les concentrations plus élevées sont liées à l'interaction eau avec les roches cristallines, les évaporites et les argiles [19].

IV.4.2.2. Anions Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} :

La courbe suivante représente les variations des anions en comparaison avec les normes de potabilité des eaux OMS :

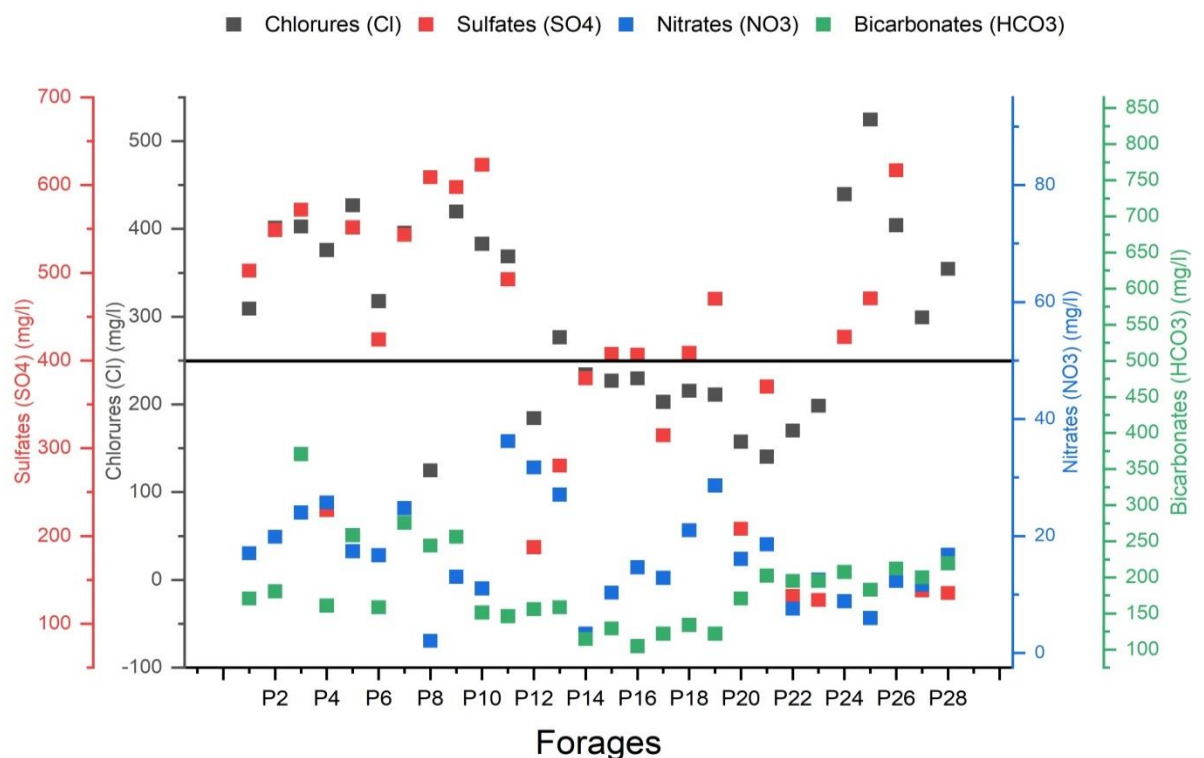


Figure 30 : Variations des anions en comparaison avec les directives d'OMS.

Bicarbonates :

La teneur en bicarbonates dans les eaux souterraines dépend surtout de la présence des minéraux carbonatés dans le sol et l'aquifère [1]. La concentration des bicarbonates varie

entre 104,92 *mg/l* à 370,88 *mg/l*. La valeur maximale des bicarbonates est enregistrée au niveau du puits Ben SMARA N°1(P03) et la valeur minimale enregistrée au puits METLILI N°9 Souani (P16). Ces valeurs ne dépassent pas la norme OMS des bicarbonates (500 *mg/l*).

Les chlorures

Les chlorures sont des ions inorganiques importants présents à des concentrations variables dans les eaux naturelles [1]. Selon les directives de l’OMS , la norme des chlorures dans les eaux destinées à la consommation humaine est 250 *mg/l*.

La concentration du chlorure dans notre région varie entre 124,794 *mg/l* jusqu'à 527,7044 *mg/l* dans les puits respectivement Hamrayet (P08) et Rahmaniya (P25), Les résultats montrent que 16 puits sur 28 dépassent la norme de potabilité. Ces valeurs élevées pourraient être dues au contact de certaines formations géologiques [71].

Nitrates

La présence des nitrates dans les eaux souterraines est associée à l'utilisation intensive des engrais chimiques ou par les rejets d'eaux usées domestiques et industrielles ou d'origine naturelle [70]. Les normes édictées par la réglementation OMS en matière de potabilité de l'eau recommandent une concentration de nitrates qui est inférieure à 50*mg/l*.

La concentration des nitrates NO_3^- varie entre 2,0909 *mg/l* Telate (P06) et 36,2196 *mg/l* Sidi M'hammed (P11) On peut dire que les teneurs en nitrates au niveau de la région étudiée conviennent aux normes approuvées.

Sulfates :

L'eau naturelle contient toujours des sulfates dans des proportions très variables. Sa présence résulte de la légère solubilité du sulfate de calcium des roches gypseuses, de l'oxydation des sulfures répandus dans les roches [70]. Selon les directives de l’OMS en matière de potabilité des eaux, la norme des Sulfates est 400 *mg/l*.

Les résultats des analyses obtenues montrent que les teneurs en sulfates varient entre 127,1689 *mg/l* (Sidi AEK ; P23) et 623,1 *mg/l* (EL-Atteuf 100Logments ; P10), la majorité des valeurs dépassent la norme de L'OMS de potabilité (61% des échantillons).

Ces fortes valeurs sont dues probablement à des apports liés à la dissolution des formations gypseuses.

IV.4.2.3. Paramètres indésirables et de pollution PO_4^{3-} , NO_2^- , NH_4^+ , Fe^{2+} :

La courbe suivante représente les variations des paramètres indésirables selon les normes de potabilité des eaux OMS :

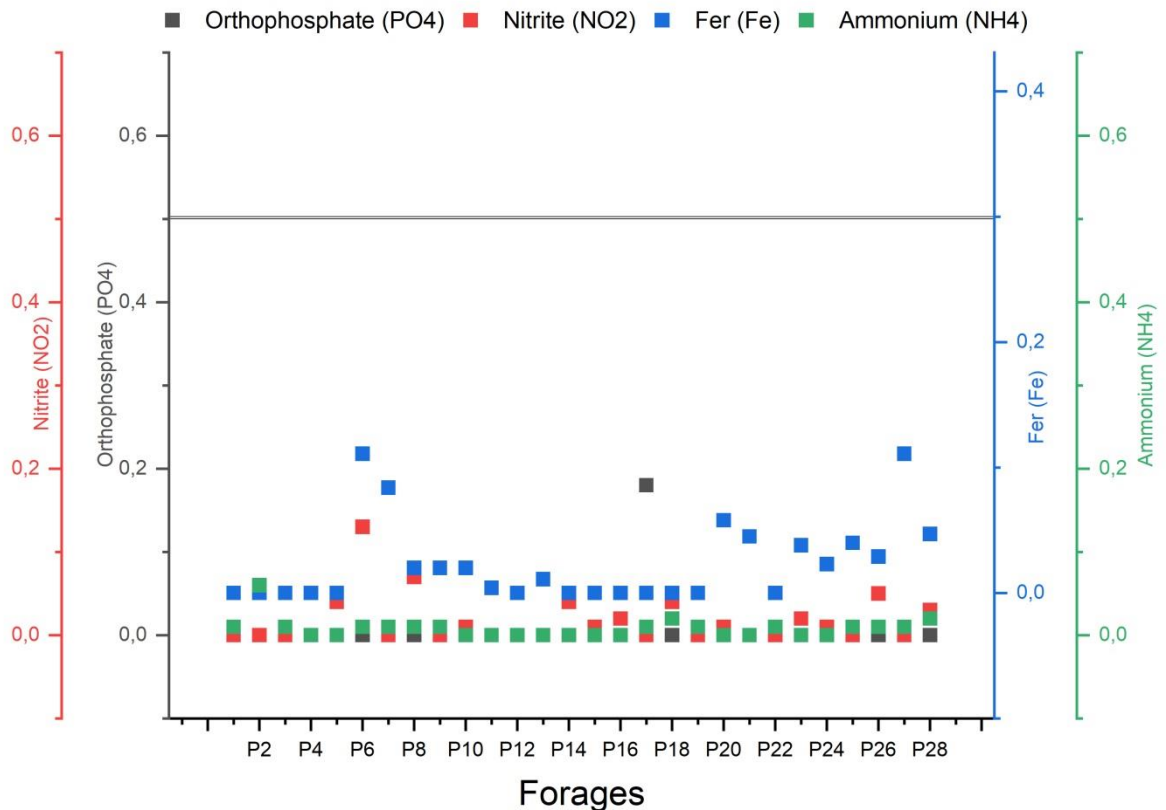


Figure 31 : Variations des paramètres indésirables et de pollution comparés avec les normes d'OMS.

A partir de l'analyse des paramètres (Fe^+ , No_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+) des échantillons nous avons constaté que l'ensemble des paramètres comprennent des concentrations faibles et se localisant dans le domaine de l'eau potable.

- NO_2^- varie entre 0 mg/l et 0.128mg/l.
- NH_4^+ varie entre 0 mg/l et 0.061mg/l.
- Fe^+ varie entre 0 mg/l et 0,533mg/l.
- PO_4^{3-} varie entre 0 mg/l et 0.177 mg/l.

IV.4.3. Variations des paramètres biologiques :

Les analyses bactériologiques ont été effectuées au niveau de laboratoire ADE de Ghardaïa qui consiste à la recherche des Coliformes totaux et fécaux, Escherichia Coli, et Streptocoques fécaux, les résultats obtenus sont :

IV.4.3.1. Les streptocoques :

Nos résultats confirment l'absence totale des streptocoques fécaux dans les eaux étudiées. Ceci est conforme aux normes de potabilité concernant ce paramètre.

IV.4.3.2. Coliformes totaux, fécaux et Escherichia Coli:

Nos résultats montrent que l'eau des puits présente une absence totale des Escherichia Coli, coliformes fécaux ce qui indique qu'ils sont acceptables à la norme L'OMS.

IV.4.3.3. Les coliformes totaux:

On remarque que la majorité des puits analysés qui sont conformes avec les normes OMS on peut dire que ces eaux sont propres à la consommation de point de vue coliforme totaux, à l'exception de trois puits P1, P2 et P6 qui correspondent à Tidefte RTA N°3, Hai EL Modjahidine et Telat dépassent la norme L'OMS ceci indique la présence de contamination à ces puits.

Pour résoudre ce problème de la contamination, l'algérienne des eaux utilise l'eau de javel, où elle traite l'eau avant de l'envoyer à la consommation humaine.

IV.4.3.4. Spores A.S.R :

Les résultats obtenus pour notre eau étudiée confirment une absence totale des spores A.S.R. ceci est conforme aux normes de potabilité concernant ce paramètre.

IV.5. Classification et évaluation des eaux de la région de Ghardaïa :

IV.5.1. Faciès hydro-chimique et géochimiques :

Dans le but de bien identifier les faciès hydro-chimiques des eaux souterraines, Nous avons utilisé le logiciel Diagramme qui permet de représenter les résultats d'analyses graphiquement.

IV.5.1.1. Diagramme de stabler :

Nous avons représenté les différents éléments chimiques sur le diagramme de Stabler. Ce dernier décrit en fonction des pourcentages la part que constitue chaque élément dans l'eau.

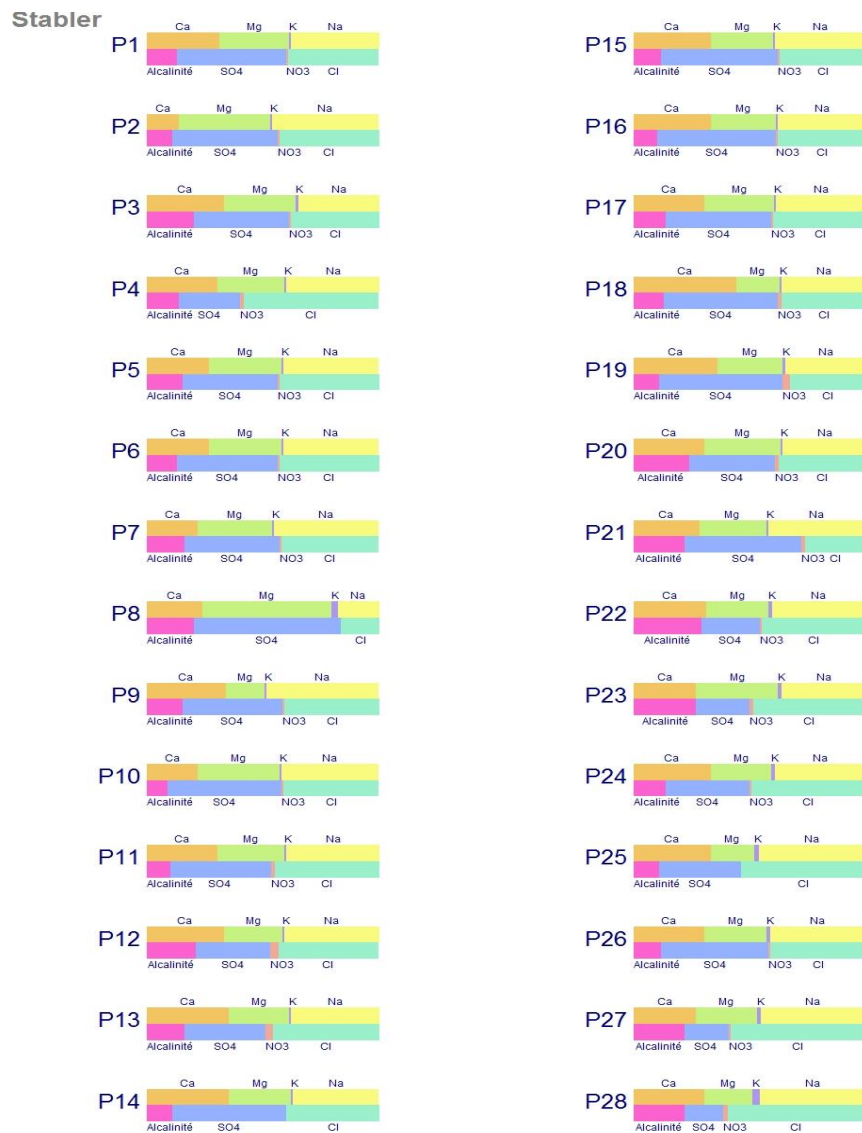


Figure 32 : Diagramme de STABLER caractérisant les faciès dominants pour l'ensemble des échantillons étudiés dans la région de Ghardaïa.

Les résultats obtenus montrent que les Sulfates et Chlorures sont les anions prédominants dans les eaux de notre zone d'étude.

IV.5.1.2. Diagramme de Piper :

Le diagramme de piper nous permet d'étudier l'évolution du faciès des eaux souterraines de la région de Ghardaïa et distinguer les groupes d'échantillons.

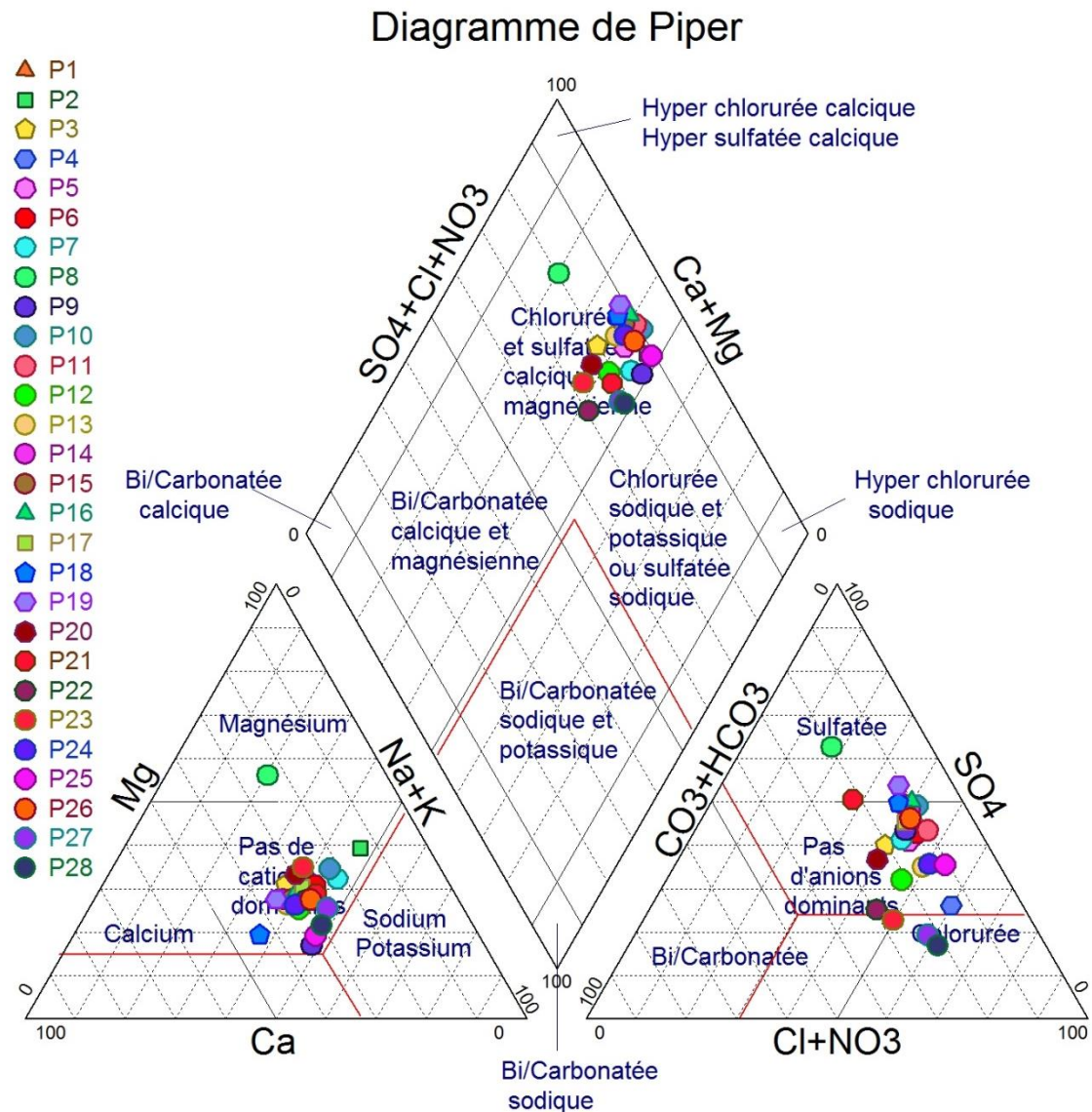


Figure 33 : Faciès chimique des eaux de la région de Ghardaïa selon le diagramme de Piper

A partir de ce diagramme de Piper on remarque que les faciès chimiques dominants dans la région de Ghardaïa est sulfatée-calcique et chlorurée-calcique et sulfatée-magnésienne dans les puits des eaux de la willaya de Ghardaïa.

En observant le diagramme ternaire des cations nous constatons que la majorité des puits à une tendance vers le domaine d'aucun cation dominant.

Pour le diagramme ternaire des anions nous constatons que la majorité des puits ont une tendance vers les sulfates.

- La projection des différents points sur le diagramme ($Mg/Ca : SO_4/Cl$), ce dernier permet de déterminer la répartition spatiale des faciès géochimiques des eaux souterraines au niveau de la wilaya de Ghardaïa.

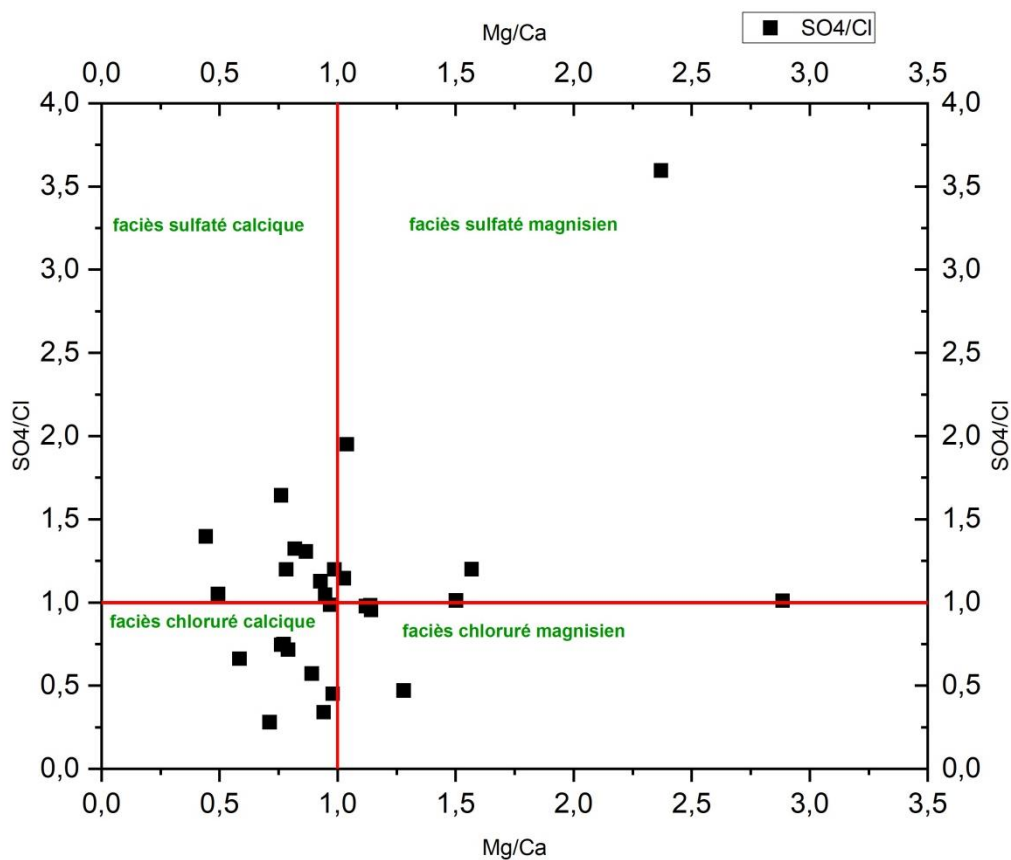


Figure 34 : Faciès géochimiques de l'eau par les rapports $Mg/Ca : SO_4/Cl$.

Selon le diagramme, les eaux souterraines de la région de Ghardaïa sont caractérisées par la présence de deux faciès prédominants. Ces faciès sont :

- Faciès chloruré calcique.
- Faciès sulfaté calcique.

Le graphique représente les pourcentages des faciès géochimiques des eaux souterraines de la région de Ghardaïa.

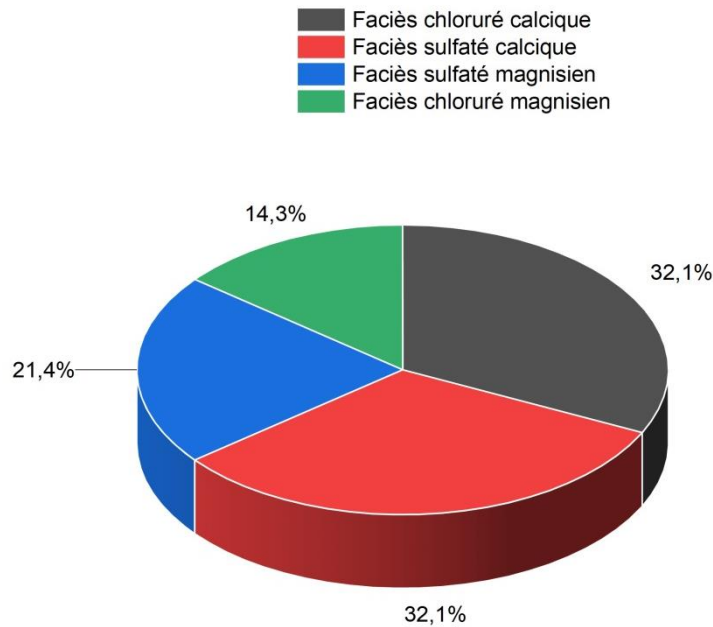


Figure 35 : Pourcentages des faciès géochimiques des eaux souterraines de la région de Ghardaïa.

A partir le graphique nous remarquons que : deux faciès principaux sont faciès chloruré calcique et faciès sulfaté calcique avec pourcentages 32,1% suivi par faciès sulfaté magnésien 21,4% et faciès chloruré magnésien 14,3%.

IV.5.1.3. Diagramme Schoeller-Berkaloff :

Le diagramme de Schöeller Berkaloff permet de représenter les éléments chimiques de plusieurs échantillons d'eaux. Les figures 39 et 40 représentent les points d'eaux de la région de Ghardaïa :

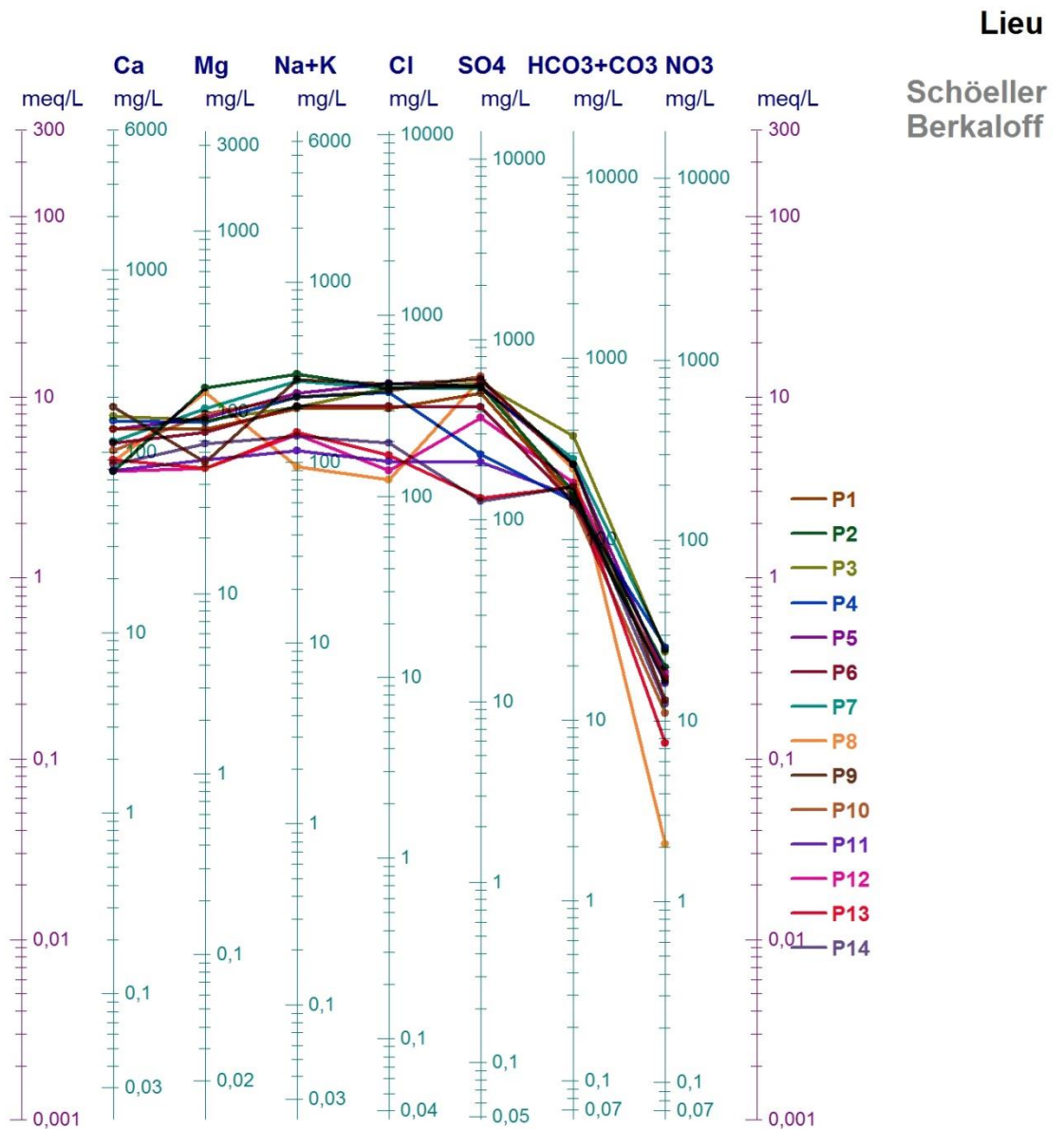


Figure 36 : Projection des résultats des analyses des eaux souterraines sur le diagramme de SCHOELLER.

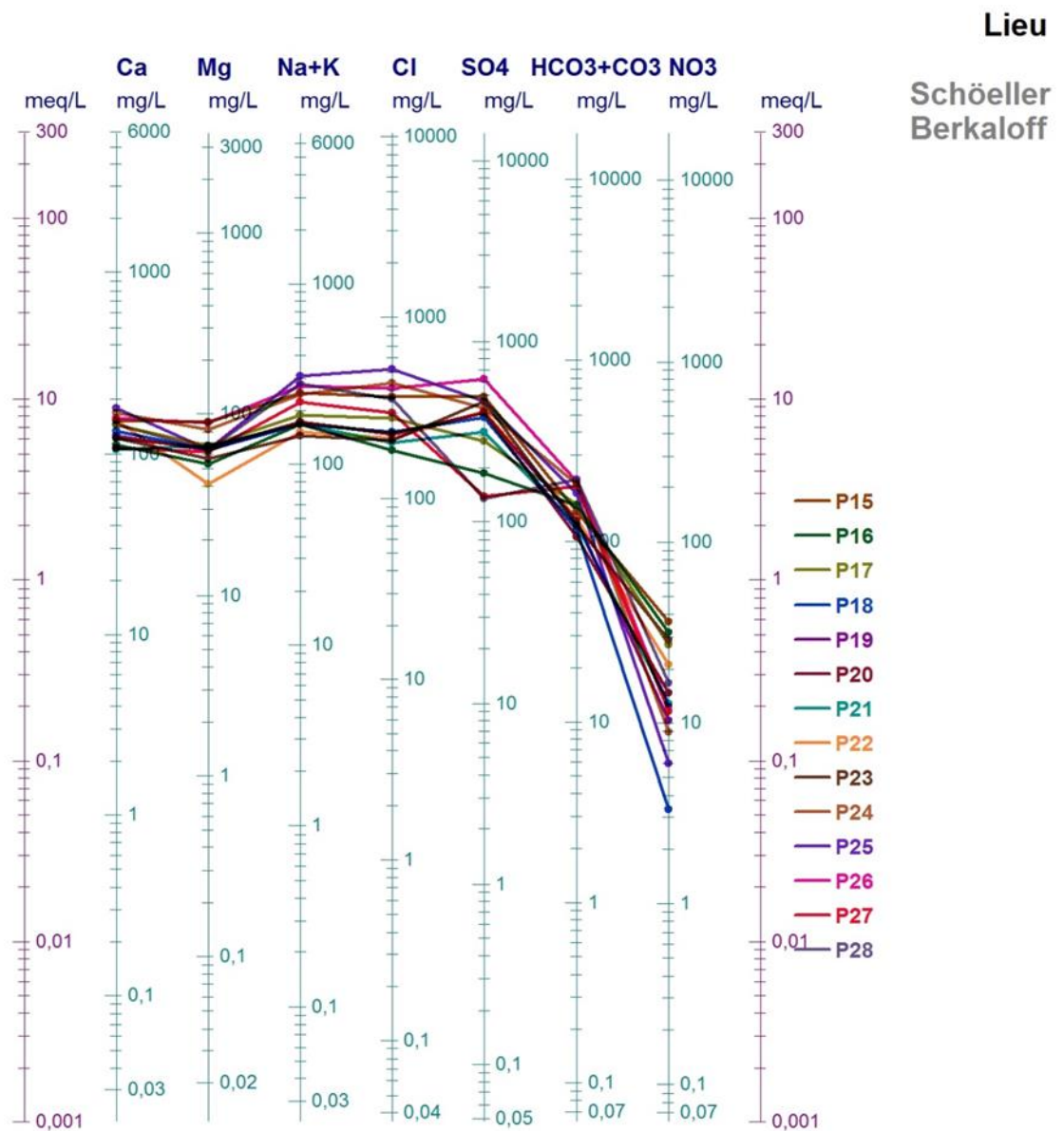


Figure 37 : Projection des résultats des analyses des eaux souterraines sur le diagramme de SCHOELLER(partie2).

A travers ces représentations, on note la domination des chlorures et sulfates dans les eaux de la région de Ghardaïa.

IV.5.2. Calcule des indices d'évaluation de la qualité des eaux :

IV.5.2.1. Indice d'échange de base :

Le graphique représente les pourcentages de l'indice d'échange de base de la région de Ghardaïa.

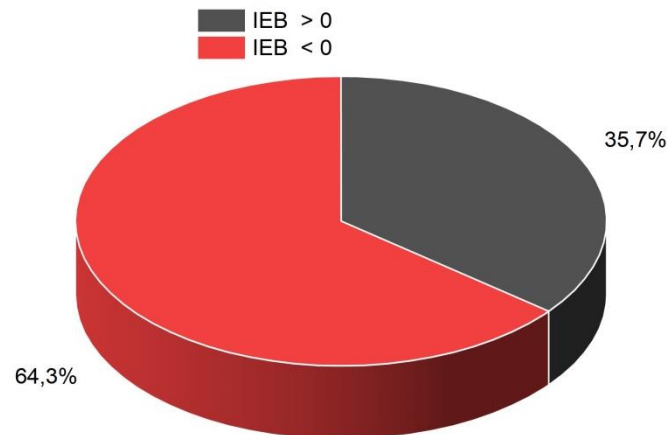


Figure 38 : Pourcentages de l'indice d'échange de base de la région de Ghardaïa.

Pour la région étudiée les eaux ont un indice d'échange de base positif dans 35,7% des puits, indiquant un échange de Na^+ et K^+ , de l'eau contre Ca^+ et Mg^+ de l'encaissant, en revanche, 64,3% des puits l'indice de base négatif constaté indique que l'encaissant libère Na^+ , K^+ et fixe les ions de Ca^+ et Mg^+ de l'eau.

IV.5.2.2. Indice de la Qualité de l'Eau :

La carte suivante est créée par logiciel ArcGIS, elle représente répartition de l'indice de la qualité de l'eau dans la région de Ghardaïa.

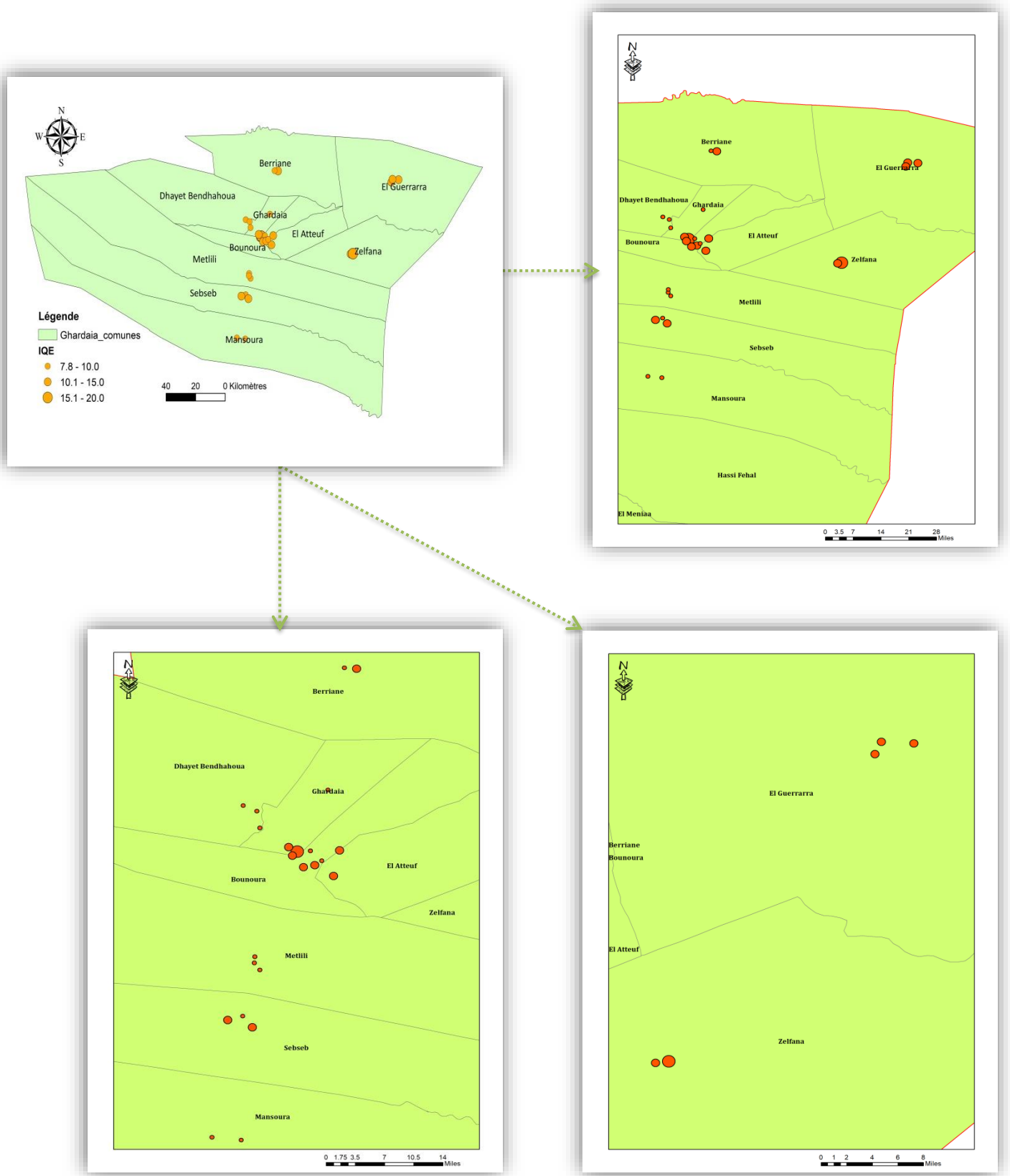


Figure 39 : Carte de répartition spatiale des catégories IQE.

Selon la carte il est noté que les eaux souterraines de la région de Ghardaïa ont un IQE inférieur à 25 ce qui correspond une qualité excellente pour la consommation humaine par l'indice de la qualité de l'eau.

La distribution de l'indice de la qualité de l'eau dans la région de Ghardaïa représenté dans une carte crée par logiciel Surfer.

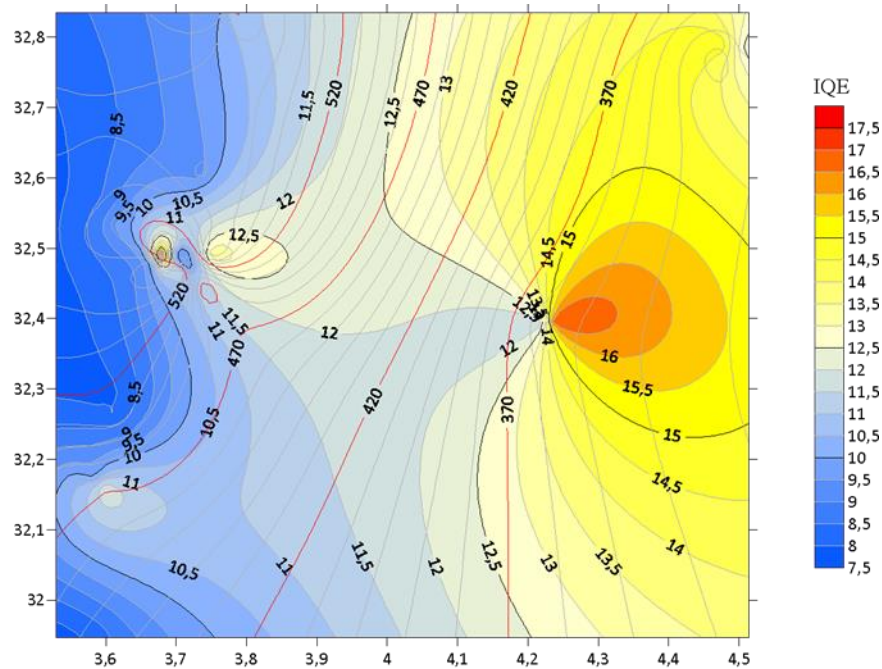


Figure 40 : Topographie de région superposée sur la carte d'équirépartition d'IQE.

L'indice de la Qualité de l'Eau (IQE) des puits analysés, varie de 7,76 à 17,062. Sur la base des résultats obtenus, tous les points d'eaux ont un IQE inférieur à 25, ce qui correspond à des eaux d'excellente qualité. Selon la carte, on constate que plus la valeur de l'altitude (Z) augmente, plus la valeur IQE diminue.

IV.5.2.3. Grille simplifiée:

La carte suivante créée par logiciel ArcGIS représente les classes d'eaux de la région de Ghardaïa par la grille simplifiée.

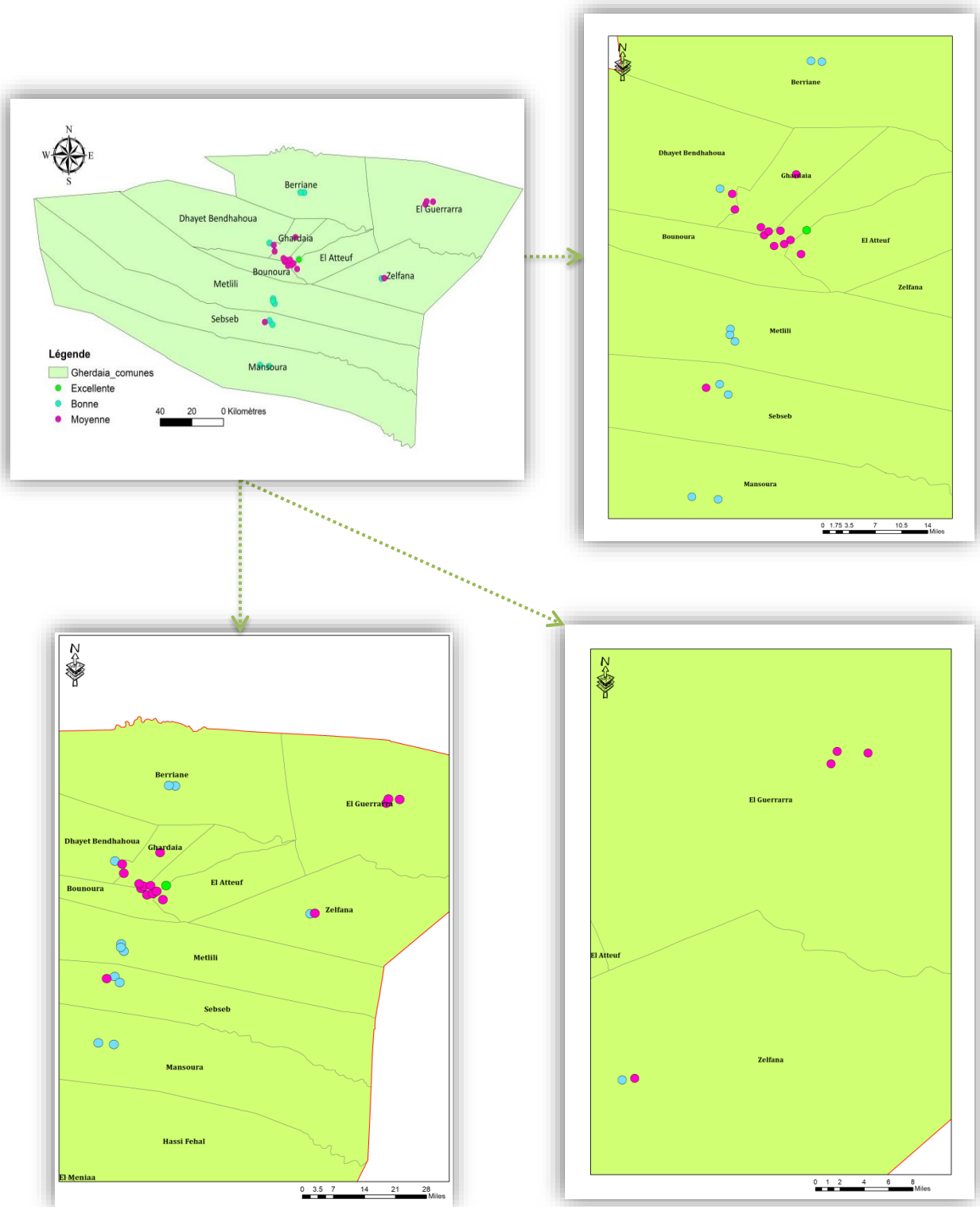


Figure 41 : Carte de Grille simplifiée.

Le graphique représente les pourcentages de la Grille simplifiée de la région de Ghardaïa.

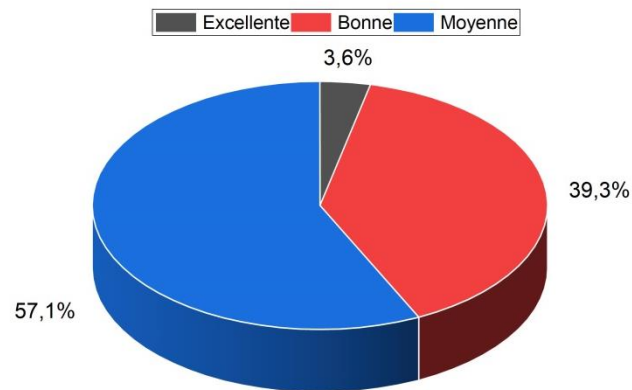


Figure 42 : Pourcentages des catégories à la base de la grille simplifiée.

Selon la carte et le graphique de la grille simplifiée montre que l'analyse des eaux de la région de Ghardaïa a révélé que 57,14% (16 sur 28) des points contrôlés affichaient une qualité moyenne, 39,3% (11 sur 28) ont une qualité bonne, et un seul puits Hamrayet (P08) montre une qualité excellente.

Conclusion :

Les analyses physico-chimiques et bactériologique des eaux de la région de Ghardaïa montre que ces eaux sont caractérisées par un pH et une turbidité conforme aux normes se traduisant par une eau claire et limpide, mais par rapport au TDS et à la conductivité ces eau se caractérisent par des valeurs très élevées ce qui traduit par des concentrations de quelques éléments majeurs tels que ($K^+, Na^+, SO_4^{2-}, Cl^-$,) à l'exception, d'autre éléments comme ($PO_4^{3-}, NO_2^-, Fe^{2+}, NH_4^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, NO_3^-, HCO_3^-$) où ces éléments se caractérise par des faibles concentrations et ne dépassent pas les valeurs guide de l'OMS.

L'analyse bactériologique des eaux n'a révélé aucune contamination bactériologique dans la majorité des puits à l'exception 3 puits (Tidefet RTA N°3, Hai EL Modjahidine, Telat) où on a observé l'existence des coliformes totaux.

Les traitements des données d'analyse des échantillons par les différents diagrammes montrent que les faciès chimiques de ces eaux sont : chloruré calcique et faciès sulfaté calcique.

Selon les l'indices d'évaluation de qualité des eaux des échantillons prélevés, l'eau de cette région possède un caractère de type excellente qualité bonne à moyenne qualité des eaux.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans ce travail, ont été prélevés 28 échantillons des points d'eaux (forages) à partir de différentes communes de la wilaya de Ghardaïa et soumis aux analyses physico-chimiques et bactériologiques au niveau de laboratoire de (ADE) Ghardaïa pendant le mois décembre 2021.

Pour le but de vérifier la fiabilité des résultats d'analyse d'eaux souterraines étudiées de la région de Ghardaïa, nous avons utilisé la balance ionique, les résultats montrent que : 67,9 % des analyses ont une balance ionique excellent à acceptables et 32,1% sont dites douteuses. Ce qui traduit, ces résultats présentent une fiabilité relativement élevée.

A la suite des résultats des analyses réalisées sur les échantillons d'eaux des puits de la région Ghardaïa, nous avons constaté que :

Selon les paramètres physiques, ces eaux sont caractérisées par pH et une turbidité conforme aux normes se traduisant par une eau claire, tandis que le TDS et la conductivité caractérisés par des concentrations très élevées.

Les analyses des paramètres chimiques d'eaux ont montré que la majorité des éléments (PO_4^{3-} , NO_2^- , Fe^{2+} , NH_4^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , HCO_3^-) caractérisé par une faible concentration et ne dépassent les valeurs guide de l'OMS par contre, les concentrations des éléments (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^-) sont élevées et dépassent les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé.

L'analyse bactériologique des eaux n'a révélé aucune contamination bactériologique dans la majorité des puits sauf aux 3 puits (Tidefet RTA N°3, Hai EL Modjahidine, Telat) où on a observé l'existence des coliformes totaux.

La projection des résultats au diagramme de stabler et Schoeller-Berkaloff présente d'un part les anions dominants dans les eaux de notre région sont les sulfates et les chlorures, et d'autre part, les cations les plus abondants sont Calcium, Magnésium et Sodium.

Le diagramme de piper il a permis de déterminer les faciès géochimiques des eaux souterraines de la région de Ghardaïa, ils sont deux types principaux : faciès chloruré calcique et faciès sulfaté calcique.

Pour la région étudiée les eaux ont un indice d'échange de base positif dans 35,7% des puits (10 puits sur 28) tandis que, 64,3% des puits ont l'indice de base négatif (18 puits sur 28).

L'indice de la Qualité de l'Eau (IQE), donne un aperçu général sur la qualité globale de l'eau d'après les résultats obtenus on peut voir que les eaux étudiées sont dans la catégorie de [0 à 25] ce que signifie une excellente qualité pour consommation humaine.

Pour une classification plus précise de la qualité de l'eau, nous avons ajouté une autre norme de qualité, qui est la grille simplifiée.

Après le calcul de cet indicateur, on trouve que la qualité des eaux de la région de Ghardaïa varie d'un puits à l'autre. 16 puits sur 28 représentent une moyenne qualité, 11 puits représentent une bonne qualité et seulement le puits de Hamrayet situé dans la commune d'El-Atteuf a une excellente qualité.

En termes de conclusion, on peut dire que les eaux étudiées de la région de Ghardaïa peuvent être classées comme des eaux acceptables à consommation humaine, mais il est nécessaire d'améliorer sa qualité à l'aide de techniques appropriées de traitement afin de diminuer les taux élevés de certains éléments avant de les distribuer à la population.

Références bibliographiques

- [1] N. Nouayti, D. Khattach, M. J. J. o. M. Hilali, and E. Science, "Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc)[Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High Atlas, Morocco)]," vol. 6, no. 4, pp. 1068-1081, 2015.
- [2] S. ZEREG, "Impacts de l'irrigation sur la qualité des eaux souterraines des régions semi-arides. Cas de la région de Tébessa," Université de Batna 2, 2019.
- [3] M. Kahoul and M. J. L. J. P.-I.-E.-I.-. Touhami, "Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie)," no. 19, 2014.
- [4] B. Benmerine, "Contribution à l'étude et l'évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la région d'oued Es-Saoura cas de Béni-Abbès, Ougarta et Zeghamra," DOCTORAT, Microbiologie Fondamentale et Appliquée, Université d'Oran 1, 2016.
- [5] N. Chenini and S. J. R. d. E. R. S. Chabou, "Evaluation du potentiel géothermique dans la région de Ghardaïa," vol. 12, pp. 307-312, 2012.
- [6] M. Lamy, *L'eau de la nature et des hommes*. Presses Univ de Bordeaux, 1995.
- [7] L. Sigg, P. Behra, and W. Stumm, *Chimie des milieux aquatiques*. Dunod, 2001.
- [8] F. Rejsek, *Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques*. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, 2002.
- [9] P. Behra and L. J. A. C. Sigg, "Chimie des eaux naturelles," pp. 111-116, 1999.
- [10] B. Hasnia, "Chimie des eaux," 2018.
- [11] G. Michard, *Chimie des eaux naturelles: principes de géochimie des eaux*. Publisud, 2002.
- [12] J. Monod, "Mémento technique de l'eau," 1989.
- [13] Z. KOUIDRI NEE BELALA, "ETUDE ET TRAITEMENT DE L'EAU DU BARRAGE DJORF-ELTORBA DE LA WILAYA DE BECHAR PAR FILTRATION SUR SABLES," Université de Chlef-Hassiba Benbouali, 2006.
- [14] A. Olivier, *Chimie et pollutions des eaux souterraines*. Lavoisier, 2015.
- [15] R. Desjardins, "Le traitement des eaux., Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal," ed: Montréal, 1988.
- [16] R. Desjardins, *Le traitement des eaux*. Presses inter Polytechnique, 1997.
- [17] C. J. M. M. S. T. T. Bosca, "Groundwater law and administration of sustainable development," vol. 2, pp. 13-17, 2002.
- [18] A. Boubryem and F. J. J. F. A. S. Derradji, 10, "LEACHATE OF EL-HARROUCH UNCONTROLLED DISCHARGE: CHARACTERIZATION AND IMPACT STUDY ON WATER QUALITY AND ENVIRONMENT," pp. 113-128, 2018.
- [19] F. Touhari, "Etude de la qualité des eaux de la vallée du Haut Cheliff," Ecole nationale supérieure d'hydraulique-Arbaoui Abdellah Blida, 2015.
- [20] A. Mawloud, "CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE ET POLLUTION DES EAUX SOUTERRAINES EN CONTEXTE URBAIN :CAS DE L'AGGLOMERATION ORANAISE (ALGERIE).".
- [21] M. O. S. A. O. Kankou, "Vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du fleuve Sénégal en Mauritanie: Etude en laboratoire du comportement de deux pesticides," Limoges, 2004.
- [22] L. Sofiane, "Evaluation de la pollution des eaux souterraines dans un milieu industriel (Cas de la zone industrielle de Skikda, NE algérien)."
- [23] T. F, "Des eaux souterraines," Presses universitaire de France, 1995.

- [24] F. Proulx, M. Rodriguez, and J.-B. J. R. d. s. d. l. e. J. o. W. S. Sérodes, "Les goûts et les odeurs dans l'eau potable: revue des composés responsables et des techniques de mesure," vol. 23, no. 3, pp. 303-323, 2010.
- [25] F. OUZAL, "Effets des antagonismes ammonium (NH₄⁺), potassium (K⁺) sur l'absorption du sodium (Na⁺) pour la nutrition du haricot (variété. Contenter) par des eaux salines non conventionnelles," INA, 2005.
- [26] J. Rodier, B. Legube, and N. Merlet, "L'analyse de l'eau" Dunod Paris," ed, 2009.
- [27] M. Makhoukh, M. Sbaa, A. Berrahou, and M. J. L. J. P.-I.-E.-I.-. Van Clooster, "Contribution a l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental)," no. 9, 2011.
- [28] A. Zidi and M. M. Senoussi, "Evaluation des impacts de l'irrigation par les eaux d'oued Méskiana (Oum El Bouaghi) sur les sols de la région de Méskiana," 2021.
- [29] F. Rejsek, J.-M. Puslecki, Ed. *ANALYSE DES EAUX Aspects réglementaires*, Achevé d'imprimer en France ed. 2002, p. 360.
- [30] "JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N °18," 18 Rabhie Ethanie 1432 23 mars 2011.
- [31] L. J. A. S. COULIBALY, "Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits et du marigot de la ville de Bocanda, Côte d'Ivoire," vol. 19, no. 3, pp. 16-27, 2021.
- [32] O. mondiale de la Santé, "Directives de qualité pour l'eau de boisson: 4e éd. intégrant le premier additif," 2017.
- [33] A. A. Dougna, M. D.-T. Gnazou, T. Kodom, G. Djaneye-Boundjou, M. L. J. I. J. o. B. Bawa, and C. Sciences, "Physico-chimie et qualité des eaux des forages d'hydraulique villageoise dans la région centrale au Togo," vol. 9, no. 4, pp. 2249-2262, 2015.
- [34] B. M. Musubao, G. S. J. I. J. o. I. Lama, and A. Studies, "HYDROGEOCHIMIE DES SOURCES SALINES DE BISHUSHA/Nord-Kivu-RDC [HYDROGEOCHEMISTRY OF SALT SOURCES OF Bishusha/North Kivu, DRC]," vol. 17, no. 1, p. 4, 2016.
- [35] P. B. Mwanza, J. Katond, and P. J. T. Hanocq, "Evaluation de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux de puits dans le quartier spontané de Luwowoshi (RD Congo)," 2019.
- [36] S. D. M. Ahouanse, P. Kotchare, E. W. Vissin, N. Agossou, S. C. J. I. J. o. I. Houssou, and A. Studies, "Gestion de l'eau de consommation et problèmes de santé des populations dans les communes du département du Mono (République du Bénin)," vol. 17, no. 1, pp. 74-81, 2016.
- [37] B. Zineddine, Z. Mehdadi, H. Benhassaini, and L. J. R. L. Hamel, "LUTTE CONTRE LA DEGRADATION DE LA QUALITE DES EAUX DE BOISSON AU NIVEAU DU RESEAU DE DISTRIBUTION. CAS DE LA SOURCE AIN SKHOUNA DE SID ALI BEN YOUB (W. DE SIDI BEL ABBES)," 2015.
- [38] M. REDOUANE, "Essais d'interprétation des anomalies hydrogéothermales de la région de Ghardaia, Algérie," Université de Sétif Examineur N. BRINIS MCA, Université de Batna, 2017.
- [39] "Annuaire Statistique année de la Wilaya de Ghardaïa 2018."
- [40] "Historique-météo.net " 2014-2022.
- [41] M. ACHOUR, "Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride, cas de la vallée du Mzab (Ghardaia-Algérie)," Université Mohamed Ben Ahmed d'Oran 2, 2014.
- [42] M. ACHOUR, "Gestion des ressources en eau souterraine dans la région de Ghardaïa AGENCE NATIONALE DES RESSOURCES HYDRAULIQUES ANRH SECTEUR DE GHARDAIA " Janvier 2019

- [43] A. Guendouz *et al.*, "Palaeoclimatic information contained in groundwaters of the Grand Erg Oriental, North Africa," in *Isotope Techniques in the Study of Past and Current Environmental Changes in the Hydrosphere and the Atmosphere. Proceedings of Vienna Symposium*, 1997, p. 555.
- [44] R. Mihoub and N. Chabour, "Essais d'interprétation des anomalies hydrogéothermales de la région de Ghardaia, Algérie," université des frères Mentouri Constantine 1.
- [45] S. Hébert and S. Légaré, "Suivi de la qualité de l'eau des rivières et des petits cours d'eau," 2000.
- [46] "Manuel des analyses physico-chimique des eaux de boisson " *LABORATOIRE CENTRAL SERVICE BACTERIOLOGIQUE* , Direction d'unité Ouargla.
- [47] "Manuel des analyses physico-chimique des eaux de boisson " *LABORATOIRES DE L'ADE DE GHARDAIA*.
- [48] A. DJAMAL, B. BADR-EDDINE, and G. CHAFIKA, "Cours National d'Hygiène et de Microbiologie des Eaux " Mai 2008.
- [49] M. A. Djamal, M. B. Badreddine, and "MANUEL DE TRAVAUX PRATIQUES DES EAUX " Institut Pasteur D'ALGERIEdu 03 au 14 Juin 2006
- [50] !!! INVALID CITATION !!! .
- [51] A. M. Kouassi, A. Mamadou, K. E. Ahoussi, and J. J. R. I. d. S. e. T. Biemi, "Simulation de la conductivité électrique des eaux souterraines en relation avec leurs propriétés géologiques: cas de la Côte d'Ivoire," vol. 21, pp. 138-166, 2013.
- [52] Y. K. S. Aristide, "Caractérisation Physico-Chimique Des Eaux De Surface Dans Un Environnement Minier Du Centre-Ouest De La Côte d'Ivoire: Cas Du Département De Divo."
- [53] M. S. Belksier, S. Chaab, and F. J. S. R. d. S. e. d. I. T. Abour, "Qualité hydro chimique des eaux de la nappe superficielle dans la région de l'Oued Righ et évaluation de sa vulnérabilité à la pollution," vol. 32, pp. 42-57, 2016.
- [54] A. K. H. Saley, I. Sandao, J.-L. Michelot, and O. J. E. S. J. Boureïma, 25p, "Apport des Paramètres Physico-Chimiques des Eaux à l'amélioration de la Connaissance de l'aquifère du Continental Intercalaire/Continental Hamadien de la Région de Tahoua (Bassin des Iullemeden, Niger)," 2019.
- [55] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, R. G. J. W. Tozer, and s. works, "A water quality index-do we dare," vol. 117, no. 10, 1970.
- [56] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, and M. F. O'Connor, "A water quality index—crashing the psychological barrier," in *Indicators of environmental quality*: Springer, 1972, pp. 173-182.
- [57] C. Chatterjee, M. J. N. Raziuddin, Environment, and p. technology, "Determination of Water Quality Index(WQI) of a degraded river in Asansol industrial area(West Bengal)," vol. 1, no. 2, pp. 181-189, 2002.
- [58] S. Mark, Y. J. E. Adadow, and E. Science, "Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis," vol. 59, pp. 1461-1473, 2010.
- [59] D. Aher, V. Kele, K. Malwade, M. J. I. J. o. E. R. Shelke, and Applications, "Lake Water Quality Indexing To Identify Suitable Sites For Household Utility: A Case Study Jambhulwadi Lake; Pune (MS)," vol. 6, no. 5, pp. 16-21, 2016.
- [60] H. Haddad and H. J. L. J. P.-I.-E.-I.-. Ghoualem, "CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE COTIER ALGEROIS," no. 18, 2014.
- [61] F. Menet-Nedelec and A. Grouhel-Pellouin, "Evaluation de l'état chimique DCE des masses d'eau littorales du bassin Seine-Normandie," 2019.

- [62] S. Amrani and S. J. S. E. M. Hinaje, "Utilisation des analyses hydro-géochimiques et des analyses en composantes principales (ACP) dans l'explication du chimisme des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire entre Timahdite et Almis Guigou (Moyen Atlas, Maroc)," no. 6, pp. 1-14, 2014.
- [63] H. K. B. Nourhan, "Cours Informatique 3^{ème} année LMD ", Université de batna -2-.
- [64] M. Koussa, "Apport d'un système d'information géographique pour la gestion des ressources en eau de la région de Djelfa," Université Mohamed Khider-Biskra, 2017.
- [65] M. A. Kouassi *et al.*, "Apports des méthodes statistiques et hydrochimiques à la caractérisation des eaux des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (Centre-Est de la Côte d'Ivoire)," vol. 4, no. 5, 2010.
- [66] A. AOUISSI and M. HOUHAMDI, "Contribution a l'étude de la qualité de l'eau de quelques sources et puits dans les communes de Belkheir et Boumahra Ahmed (Wilaya de Guelma, Nord-est Algérien)," in *1er Séminaire National sur la Santé et Bio-Surveillance des Ecosystèmes Aquatiques*, 2014.
- [67] G. Ruban, C. Joannis, M.-C. Gromaire, J. Bertrand-Krajewski, and G. J. T. S. M. Chebbo, "Mesurage de la turbidité sur échantillons: application aux eaux résiduaires urbaines," vol. 4, pp. 61-74, 2008.
- [68] W. Ayad, M. J. J. o. M. Kahoul, and E. Science, "Evaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (NE-Algérie)[Assessment of physico-chemical and bacteriological quality of Well water in the region of El-Harrouch (NE-Algeria)]," vol. 7, pp. 1288-1297, 2016.
- [69] M. Belghiti, A. CHAHLAOUI, D. Bengoumi, and R. J. L. J. P.-I.-E.-I.-. El Moustaine, "Etude de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc)," no. 14, 2013.
- [70] S. Benslimane, "Etude chimique des eaux naturelles en Algérie (région de Batna)," UB1, 2017.
- [71] L. Matini, J. Moutou, and M. J. A. S. R. I. d. S. e. T. Kongo-Mantono, "Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo," vol. 5, no. 1, 2009.