

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université de Ghardaïa**

N° d'ordre :  
N° de série :

Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la Terre  
Département de Biologie

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

## **MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Ecologie et Environnement

**Spécialité :** Ecologie

**Par : BHAZ Khadidja El-Korba et MANSOUR Khadidja**

**Thème**

**Qualité des eaux souterraines destinées à la  
consommation humaines (Cas d'étude Oued M'Zab  
Wilaya de Ghardaïa)**

**Soutenu publiquement le :**

**Devant le jury :**

<b>Mr. KHELLAF Khoudir</b>	Maître de conférence B	Univ. Ghardaïa	<b>Président</b>
<b>Melle. BENHEDID Hadjira</b>	Maître Assistant B	Univ. Ghardaïa	<b>Encadreur</b>
<b>Mr. BOUNAB Choayb</b>	Maître de conférence B	Univ. Ghardaïa	<b>Examineur</b>

**Année universitaire 2019/2020**

## *Remerciement*

*Tout d'abord, avec la grâce d'Allah et sa volonté qui nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.*

*On tient à remercier mademoiselle **BENHEDID Hadjira** Maitre-Assistant B à l'université de Ghardaia d'avoir accepté de nous encadrer sur ce thème et pour son attention de suivi ce travail*

*On tient aussi, à remercier les membres de jury Mr. **KHELLAF Khoudir** Maitre de conférences B à l'université de Ghardaïa et Mr. **BOUNAB Choayb** Maitre de conférences B à l'université de Ghardaïa d'accepter d'examiner notre recherche et leurs orientations afin d'évaluer ce travail.*

*Nous tenons à remercier, mademoiselle **BELABASSI Ouarda**, Mr **KRAIMAT Mohamed** et Mr **ACHOUR Mansour** d'avoir nous orienté, de nous conseiller et pour leurs instructions.*

*Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisées au niveau de laboratoire de l'ADE unité Ghardaïa. On tient à remercier toute l'équipe travaillante à l'ADE pour nous aider et nous apprendre les techniques d'analyse d'eau durant le stage pratique chez eux.*

*A la fin on tient à remercier toute personne qui nous avancer les facilités pour réaliser notre recherche, également tous les enseignants et les personnels techniques et l'administratif de l'université de Ghardaïa et tous les étudiants de la promotion*

*2019/2020*

*Dédicace*

*Au tout puissant Allah*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers Parents sans leurs amours, leurs sacrifices et leurs encouragements je ne serais jamais arrivée à réussir dans mes études.*

*Je sais bien quelque soit les remerciements que je leurs adresse c'est peu, que Dieu les protège et leur donne la santé et une longue vie.*

*Ma très chère sœur Aya*

*Mes très cher frères Ali, Houcine et Abdennoure*

*Ma famille (mes grands parents, tantes et oncles,  
cousins et cousines)*

*Une spéciale dédicace à toutes mes toutes mes copines*

*Mansour Khadidja*



*Dédicace*

*Après la facilitation et le succès d'Allah,*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mon ange mère et mon héros père qui j'ai toujours apporté  
l'amour et leur encouragement*

*A mes chers frères qui sont toujours à côté de moi*

*A mes belles sœurs et leurs enfants*

*A mes proche amies :*

*B. Fatima, F. Feriel et D. Hadjet*

*BACHA Khadija El-kobra*

## Résumé

### Qualité des eaux souterraines destinées à la consommation humaines (Cas d'étude Oued M'Zab Wilaya de Ghardaïa)

.Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des forages utilisées comme une eau potable au niveau de la vallée de M'Zab (Wilaya de Ghardaïa) durant la période hivernal de l'année 2020. Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines, afin d'apprécier leur potabilité, et leur impact sur l'homme et l'environnement. Les résultats physico-chimiques d'une manière générale montrent que la qualité de ces eaux est bonne à moyenne sur l'ensemble des forages d'eau prospectés et conformément aux normes de potabilité, excepté certains paramètres dont ces teneurs dépassent les normes tel : la dureté totale, le sodium, le potassium et le sulfate. Tandis que les résultats des analyses microbiologiques des coliformes totaux et fécaux, streptocoque fécaux et Clostridium sulfite-réducteurs (les spores), montrent que ces eaux sont de bonne qualité bactériologiques et ne constitue aucun danger sur la santé des populations consommatrices de ces eaux. L'eau est un élément vitale et nécessaire, pour ça il faut diminuer et éviter tous les comportements qui altèrent la qualité de l'eau et peuvent faire des grands dégâts qui va influencer sur la vie.

**Mots clés :** qualité, physico-chimique, bactériologique, eaux souterraines, M'Zab.

## **Abstract**

### **Quality of groundwater intended for human consumption (Oued M'Zab case study)**

Summary Quality of groundwater for human consumption (case study of the M'zab Valley, Ghardaia Province) Our work is concerned with studying the physical, chemical and bacteriological quality of well water used as drinking water in the M'zab Valley (Ghardaia State) during the winter period of 2020. Our systematic approach is to study the physical, chemical and bacteriological quality of groundwater, in order to assess its drinking capacity and its impact on humans and the environment. In general, the physical and chemical results show that the quality of this water is good on average for all water wells that have been explored and conforms to drinking water standards, except for some standards where these contents exceed the standards such as: total hardness, sodium, potassium and sulfate. While the results of microbiological analyzes of total and faecal coliforms, faecal coliforms and Clostridium sulphate-reducing streptococci (germs) were found to be sulfite-reducing, it was found that this water is of good bacteriological quality and does not pose any risk to the health of the population who consume this water. Water is a vital and necessary component. Altering water quality and can cause significant damage that affects life.

**Key words:** quality, physical and chemical, bacteriological, groundwater, M'zab.

## المخلص

### نوعية المياه الجوفية المخصصة للاستهلاك البشري (دراسة حالة واد مزاب)

نوعية المياه الجوفية المخصصة للاستهلاك الآدمي (دراسة حالة واد مزاب ولاية غرداية) يهتم عملنا بدراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لمياه الآبار المستخدمة كماء للشرب في وادي مزاب (ولاية غرداية) خلال فترة الشتاء لعام 2020. يتمثل نهجنا المنهجي في دراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية ، من أجل تقييم قابليتها للشرب وتأثيرها على الإنسان والبيئة. تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية بشكل عام أن جودة هذه المياه جيدة في المتوسط لجميع آبار المياه التي تم التنقيب عنها وتتوافق مع معايير مياه الشرب ، باستثناء بعض المعايير التي تتجاوز فيها هذه المحتويات المعايير مثل: الصلابة الكلية والصوديوم والبوتاسيوم والكبريتات. في حين أن نتائج التحليلات البكتريولوجية القولونية و القولونيات البرازية، العقديات البرازية و كلوستريديوم مخفضات السلفيت ، تبين أن هذه المياه ذات جودة بكتريولوجية جيدة ولا تشكل أي خطر على صحة السكان الذين يستهلكون هذه المياه. الماء عنصر حيوي و ضروري ، لذلك يجب تقليل وتجنب كل السلوكيات التي تغير جودة المياه ويمكن أن تلحق أضرارًا كبيرة تؤثر على الحياة.

**الكلمات المفتاحية:** الجودة ، الفيزيائية والكيميائية ، البكتريولوجية ، المياه الجوفية ، مزاب.

### Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>Tableau 01</b>	Indices pouvant signaler différents types de puits	9
<b>Tableau 02</b>	Paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation Humaine	23
<b>Tableau 03</b>	Principales maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables	25
<b>Tableau 04</b>	Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation	38
<b>Tableau 05</b>	Forages d'alimentation en eau potable exploités dans la vallée de M'Zab	39
<b>Tableau 06</b>	Données climatiques de la ville de Ghardaïa de l'année 2009 à 2019	40

### Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>Figure 01</b>	Cycle de l'eau	5
<b>Figure 02</b>	Différentes nappes d'eau souterraine	6
<b>Figure 03</b>	Puits creusés	9
<b>Figure 04</b>	Puits à pointe filtrante	10
<b>Figure 05</b>	Puits forés ou forages	11
<b>Figure 06</b>	Wilaya de Ghardaïa, localisation et cadre administratif	31
<b>Figure 07</b>	Carte de Limites de la vallée de l'oued M'Zab	32
<b>Figure 08</b>	Évolution de la population totale de la Wilaya de Ghardaïa 2008 – 2018	32
<b>Figure 09</b>	Carte d'occupation des sols de la vallée de M'Zab	34
<b>Figure 10</b>	Coupe géologique schématique de la vallée de M'Zab	35
<b>Figure 11</b>	Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale	36
<b>Figure 12</b>	Carte piézométrique du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa	37
<b>Figure 13</b>	Carte d'inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa	38
<b>Figure 14</b>	Carte de forages AEP de la région de Ghardaïa	39
<b>Figure 15</b>	Températures moyennes mensuelles, moyenne des maximas et moyenne des minimas pour la période (2009-2019)	41
<b>Figure 16</b>	Précipitations moyennes mensuelles pour la période (2009-2019)	41
<b>Figure 17</b>	Vent moyen mensuel pour la période (2009-2019)	42
<b>Figure 18</b>	Humidités relatives moyennes mensuelles pour la période (2009-2019)	43
<b>Figure 19</b>	Diagramme d'Ombrothermique de la région de Ghardaïa 2009-2019.	43
<b>Figure 20</b>	Climagramme pluviothermique d'Emberger de la région de Ghardaïa	44
<b>Figure 21</b>	Approche méthodologique	46
<b>Figure 22</b>	Carte de localisation des forages utilisés	47
<b>Figure 23</b>	Variation de température (C°) des eaux des forages	61
<b>Figure 24</b>	Variation de pH des eaux des forages	62
<b>Figure 25</b>	Variation de conductivité électrique CE des eaux des forages	63
<b>Figure 26</b>	Variation de turbidité des eaux des forages	64

<b>Figure 27</b>	Variation de Nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) des eaux des forages	65
<b>Figure 28</b>	Variation de Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) des eaux des forages	66
<b>Figure 29</b>	Variation de phosphore (P) des eaux des forages	66
<b>Figure 30</b>	Variation de l'Orthophosphate ( $\text{PO}_4^-$ ) des eaux des forages	67
<b>Figure 31</b>	Variation de fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) des eaux des forages	68
<b>Figure 32</b>	Variation de la dureté totale (TH) des eaux des forages	69
<b>Figure 33</b>	Variation de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) des eaux des forages	70
<b>Figure 34</b>	Variation de magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) des eaux des forages	71
<b>Figure 35</b>	Variation des valeurs de Sodium ( $\text{Na}^+$ ) des eaux des forages	72
<b>Figure 36</b>	Variation des valeurs de potassium ( $\text{K}^+$ ) des eaux des forages	73
<b>Figure 37</b>	Variation de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) des eaux des forages	74
<b>Figure 38</b>	Variation des valeurs de sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) des eaux des forages	75
<b>Figure 39</b>	Variation des valeurs de bicarbonates des eaux des forages	76
<b>Figure 40</b>	Dénombrement des coliformes totaux dans les forages	77
<b>Figure 41</b>	Dénombrement des coliformes fécaux dans les forages	77
<b>Figure 42</b>	Dénombrement du Streptocoques fécaux dans les forages	78
<b>Figure 43</b>	Dénombrement des spores dans les forages	79

### Liste des abréviations

<b>AEAG</b>	Agence de l'Eau Adour-Garonne
<b>ADE</b>	Algérienne Des Eaux
<b>ANDI</b>	Agence Nationale de Développement de l'Investissement
<b>AEP</b>	Alimentation en Eau Potable
<b>ANRH</b>	Agence National des Ressources Hydrique
<b>ASR</b>	Anaérobies Sulfito-Réducteur
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>CEAEQ</b>	Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec
<b>CEC</b>	Capacité d'Echange Cationique
<b>CF</b>	Coliforme Fécaux
<b>CI</b>	Complexe Intercalaire
<b>CT</b>	Coliforme Totaux
<b>CIFFQE</b>	Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau
<b>CT</b>	Complexe Terminal
<b>DBO</b>	Demande Biochimique en Oxygène
<b>DCO</b>	Demande Chimique en Oxygène
<b>DPSB</b>	Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires
<b>E. Coli</b>	Escherichia Coli
<b>EDTA</b>	Acide Ethylène-Diamine-Tetraacétique
<b>Hr</b>	Humidité Relative
<b>IPA</b>	Institut Pasteur D'Algérie
<b>JORA</b>	Journal Officiel de la République Algérienne
<b>Mg/l</b>	Milligramme par Litre
<b>NTU</b>	Unité de Turbidité Néphélométrique
<b>OFEFP</b>	Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage
<b>OMS</b>	Organisation Mondial de la Santé
<b>P</b>	Précipitations
<b>pH</b>	Potentiel Hydrogène
<b>SOES</b>	Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère en charge du Développement Durable
<b>ST</b>	Streptocoque
<b>T</b>	Température
<b>T moy</b>	Température Moyenne
<b>TA</b>	Titre Alcalimétrique
<b>TAC</b>	Titre Alcalimétrique Complet
<b>TGEA</b>	Gélose glucosée Tryptonée à l'Extrait de levure de de foie
<b>TH</b>	Titre Hydrotimérique.

<b>TM</b>	Température Maximale
<b>Tm</b>	Température Minimale
<b>TTC</b>	Triphenyl-Tetrazolium Chloride
<b>UFC</b>	Union Fédérale des Consommateurs-que choisir
<b>UNESCO</b>	Organisation des Nation Unies pour l'Education, la Science et la Culture
<b>V</b>	Vent
<b>VF</b>	Viande Fois
<b>WAD</b>	Water Action Decade
<b>μS/cm</b>	Micro-Siémens par Centimètre

## Table de matière

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

**Introduction ..... 01**

### Chapitre I : Généralités sur les eaux

1. Définition de l'eau.....	04
2. Cycle de l'eau.....	04
3. Sources en eau.....	05
3.1. Eaux de surface.....	05
3.2. Eaux souterraines.....	05
3.2.1. Nappe profonde.....	06
3.2.2. Nappe phréatique.....	07
3.2.3. Nappe alluviale.....	07
3.2.4. Nappe karstique.....	07
4. Types d'eau destinée à la consommation.....	07
4.1. Eau du robinet.....	07
4.2. Eau minérale naturelle.....	08
4.3. Eau de source.....	08
5. Divers types de puits et de forages.....	08
5.1. Puits creusés.....	09
5.2. Puits à point filtrante.....	09
5.3. Puits foré ou forages.....	10

### Chapitre II : Pollution des eaux

1. Pollution d'eau.....	13
2. Sources de pollution.....	13
2.1. Pollution domestique.....	13
2.2. Pollution industriel.....	13
2.3. Pollution agricole.....	14
3. Type de pollution.....	14
3.1. Pollution physique.....	14
3.2. Pollution chimique.....	14
3.3. Pollution microbiologique.....	14
4. Paramètres de la qualité des eaux.....	15
4.1. Paramètres physico-chimiques.....	15
4.1.1. Température.....	15
4.1.2. Potentiel hydrogène.....	15
4.1.3. Conductivité électrique.....	15
4.1.4. Résidu sec.....	16
4.1.5. Turbidité.....	16
4.1.6. Qualité organoleptique.....	16
4.1.6.1. Couleur.....	16
4.1.6.2. Odeur.....	17
4.1.6.3. Goûts et saveurs.....	17
4.1.7. Paramètres de pollution.....	17

4.1.7.1. Ammonium.....	17
4.1.7.2. Nitrite.....	17
4.1.7.3. Nitrate.....	18
4.1.7.4. Phosphate.....	18
4.1.7.5. Fer.....	18
4.1.7.6. Demande biochimique en oxygène.....	19
4.1.7.7. Demande chimique en oxygène.....	19
4.2. Minéralisation globale.....	19
4.2.1. Titre hydrotimétrique.....	19
4.2.2. Calcium.....	19
4.2.3. Magnésium.....	20
4.2.4. Sodium.....	20
4.2.5. Potassium.....	20
4.2.6. Chlorure.....	21
4.2.7. Alcalinité.....	21
4.2.8. Sulfate.....	21
4.3. Paramètres bactériologiques.....	22
4.3.1. Coliformes totaux.....	22
4.3.2. Coliformes fécaux.....	22
4.3.3. Streptocoques fécaux.....	22
4.3.4. Clostridium sulfito-réducteur.....	23
5. Normes de potabilité.....	23
6. Maladies hydriques.....	24
6.1. Risque microbiologique d'origine hydrique (effet à court terme).....	24
6.1.1. Choléra.....	25
6.1.2. Fièvre typhoïde.....	26
6.1.3. Shigellose.....	26
6.1.4. Paludisme.....	26
6.1.5. Gastro-entérite.....	26
6.1.6. Hépatites A et E.....	27
6.1.7. Poliomyélite.....	27
6.2. Risque chimique d'origine hydrique (effet à long terme).....	27

### **Chapitre III : Matériel d'étude**

1. Choix de la région d'étude.....	30
2. Présentation de la région d'étude.....	30
2.1. Situation géographique.....	30
2.2. Démographie.....	32
2.3. Pédologie.....	33
2.4. Occupation de sol de la vallée de M'zab.....	33
2.5. Hydrologie.....	34
2.6. Géologie.....	34
2.7. Hydrogéologie.....	35
2.7.1. Nappe phréatique.....	35
2.7.2. Nappe de continental intercalaire.....	36
2.8. Caractéristique climatique de la région de Ghardaïa.....	40
2.8.1. Température.....	40
2.8.2. Précipitations.....	41
2.8.3. Vents.....	41

2.8.4. Humidité relative de l'air .....	42
2.8.5. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN .....	43
2.8.6. Climagramme d'EMBERGER .....	44

### **Chapitre IV : Méthodes d'étude**

1. Approche méthodologique .....	46
2. Echantillonnage de l'eau .....	46
3. Transport des échantillons.....	47
4. Méthodes d'analyses.....	48
4.1. Analyses physiques .....	48
4.1.1 Température .....	48
4.1.2 pH.....	48
4.1.3. Conductivité électrique .....	48
4.1.4. Turbidité.....	49
4.1.5. Dosage du Na <sup>+</sup> et K <sup>+</sup> par spectrométrie d'émission de flamme.....	49
4.2. Analyses chimiques.....	49
4.2.1. Paramètres de pollution.....	49
4.2.1.1 Nitrate.....	49
4.2.1.2 Nitrite.....	50
4.2.1.3 Phosphate.....	51
4.2.1.4 Ammonium.....	51
4.2.1.5 Fer.....	52
4.2.2. Paramètres volumétriques.....	52
4.2.2.1. Chlorure .....	52
4.2.2.2. Dureté totale.....	53
4.2.2.3. Calcium.....	54
4.2.2.4. Magnésium .....	54
4.2.2.5. Alcalinité.....	54
4.2.3. Paramètres gravimétriques.....	55
4.2.3.1. Sulfate.....	55
4.3. Analyses bactériologiques.....	55
4.3.1. Méthode de filtration sur membrane .....	55
4.3.2. Recherche et dénombrement des germes revivifiables.....	56
4.3.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes .....	56
4.3.2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux .....	57
4.3.2.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfitoréducteurs(ASR). .....	58

### **Chapitre V : Résultats et discussions**

1. Résultats d'analyses physico-chimiques.....	61
1.1. Température.....	61
1.2. Potentiel d'hydrogène.....	61
1.3. Conductivité électrique.....	62
1.4. Turbidité.....	63
1.5. Paramètres de pollution.....	64
1.5.1. Nitrite.....	64
1.5.2. Nitrate .....	65
1.5.3. Orthophosphate.....	66

1.5.4. Fer.....	67
1.6. Eléments majeurs .....	68
1.6.1. Dureté totale.....	68
1.6.2. Calcium.....	69
1.6.3. Magnésium .....	70
1.6.4. Sodium.....	71
1.6.5. Potassium.....	72
1.6.6. Chlorure .....	73
1.6.7. Sulfate.....	74
1.6.8. Bicarbonate.....	75
2. Résultats d'analyses bactériologiques.....	76
2.1. Coliformes totaux et fécaux.....	76
2.2. Streptocoque fécaux .....	77
2.3. Clostridium sulfito-réducteurs.....	78

<b>Conclusion.....</b>	<b>81</b>
------------------------	-----------

## **Bibliographie**

## **Annexe**

# *Introduction*

## Introduction

L'eau est un élément essentiel de la vie biologique. Non seulement, elle est un nutriment vital, mais elle est aussi impliquée dans de nombreuses fonctions physiologiques essentielles telles que la digestion, l'absorption, la thermorégulation et l'élimination des déchets (Kirkpatrick et Fleming 2008). Sans cette matière simple et complexe en même temps, la vie sur terre n'aurait jamais existé donc c'est un élément noble qu'on doit protéger pour les générations futures (Henri, 2012). Elle participe à toutes les activités quotidiennes notamment, domestiques, industrielles et agricoles ce qui la rend un élément récepteur exposé à tous les genres de pollution (Roux, 1987).

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exemptée d'éléments chimiques et biologiques susceptibles à plus ou moins long terme à la santé des individus (John et Donald, 2010). Elle est aussi considérée comme un transporteur potentiel de nombreuses maladies (Roux, 1987).

Certains travaux de recherches ont été réalisés sur la qualité des eaux souterraines concluent que les pollutions de ces eaux souterraines proviendraient d'une origine géologique et anthropique, notamment d'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture (Aka et *al.*, 2013 ; Ahoussi et *al.*, 2013 ; Lagnika et *al.*, 2014 ; Amadou et *al.* 2014 ; Nouayti et *al.*, 2015).

D'autres études ont révélées que la pollution des eaux souterraines est liée à la présence des fosses septiques, à l'absence du traitement, au manque du réseau d'assainissement et au non-respect des conditions d'hygiène publique (Degbey et *al.*, 2010 ; Fakih et *al.*, 2014).

En Algérie, les eaux de surface sont les principales sources pour notre approvisionnement en eau potable, mais de plus en plus l'individu et la municipalité se tournent vers les nappes phréatiques qui renferment un volume énorme d'eau exploitable (Chekroud, 2007).

Les eaux souterraines en Algérie sont polluées à partir de la surface et sont irréversiblement endommagées par l'intrusion d'eau saline, la surexploitation des couches aquifères entame la capacité de celle-ci à retenir l'eau, ce qui provoque l'enfoncement des couches sous-jacentes. Certaines régions algériennes se révèlent incapables de fournir en quantité suffisante de l'eau potable et des équipements d'hygiène et ainsi l'eau est menacée dans sa qualité et sa quantité (Remini, 2010).

Le contrôle de la qualité de l'eau joue un rôle important dans la santé publique car celle-ci est susceptible d'engendrer des altérations catastrophiques sur le sol, sur l'organisme humain et même de toucher à la santé de toute une population (Roux, 1987).

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des forages utilisées comme une eau potable au niveau de la vallée de M'Zab (Wilaya de Ghardaïa) durant la période hivernal de l'année 2020.

Afin d'atteindre notre objectif, cette recherche s'articule autour de cinq chapitres, dont:

**Le premier chapitre :** c'est une rappelle concernant les eaux d'une façon générale, tous ce qu'est ressource, types, captage des eaux aussi une clarification des nappes d'eau, et une petite présentation des puits ou forages.

**Le deuxième chapitre :** est consacré pour la pollution et les types de pollution qui touche la qualité des eaux, et on parle sur les indices de pollution d'eau que ce soit physique, chimique et bactériologique.

**Le troisième chapitre :** ce chapitre est le matériel d'étude représente la région d'étude et ces caractéristiques.

**Le quatrième chapitre :** méthodes d'études, représente la méthode d'échantillonnage et l'approche suivi dans les analyses physico-chimiques et bactériologiques au niveau de laboratoire l'ADE unité Ghardaïa,

**Le cinquième chapitre :** dans ce chapitre, on a discuté et interprété les résultats obtenus.

Finalement, on a tiré une conclusion correspond à ce travail.

# Chapitre I :

## *Généralités sur les eaux*

## Chapitre I : Généralités sur les eaux

### 1. Définition de l'eau

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants connus. L'eau est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. L'eau est gazeuse au-dessus de 100 °C et solide en dessous de 0 °C. Sa formule chimique est H<sub>2</sub>O, c'est-à-dire que chaque molécule d'eau se compose d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène. C'est notamment un solvant efficace pour la plupart des corps solides trouvés sur terre, l'eau est quelque fois désigné sous le nom de « solvant universel » (Chelli et Djouhri, 2013). L'eau est incolore, inodore et sans saveur, de valeur nutritive à peu près nulle (Mercier, 2000).

### 2. Cycle de l'eau

Entre les quatre grands réservoirs d'eau de l'hydrosphère que sont les mers et océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère et la biosphère, l'échange d'eau est permanent et forme ce qu'on appelle le cycle externe de l'eau. Le volume d'eau sur terre est toujours constant. Le moteur de ce cycle est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement (Bengaibona, 2010).

L'eau s'évapore, se condense et se précipite continuellement dans un cycle infini qui entraîne d'énormes échanges d'énergies. L'eau s'évapore de toutes les étendues d'eau, depuis la simple flaque jusqu'aux océans. De l'eau s'évapore aussi de la végétation : on parle alors d'évapotranspiration. Lorsque la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère devient suffisamment grande, la vapeur se condense sur des particules en suspension dans l'air pour former les nuages. Les nuages précipitent éventuellement sous forme de pluie, de neige ou de grêle. L'eau qui est libérée retourne au sol où elle est absorbée par la végétation ou ruisselle vers les rivières et les fleuves si elle n'est pas absorbée par le sol. L'eau peut également percoler (pénétrer lentement dans le sol) vers les couches les plus profondes pour alimenter la nappe phréatique et le système des fleuves et des rivières (fig. 1) (Janah et *al.*, 2017).

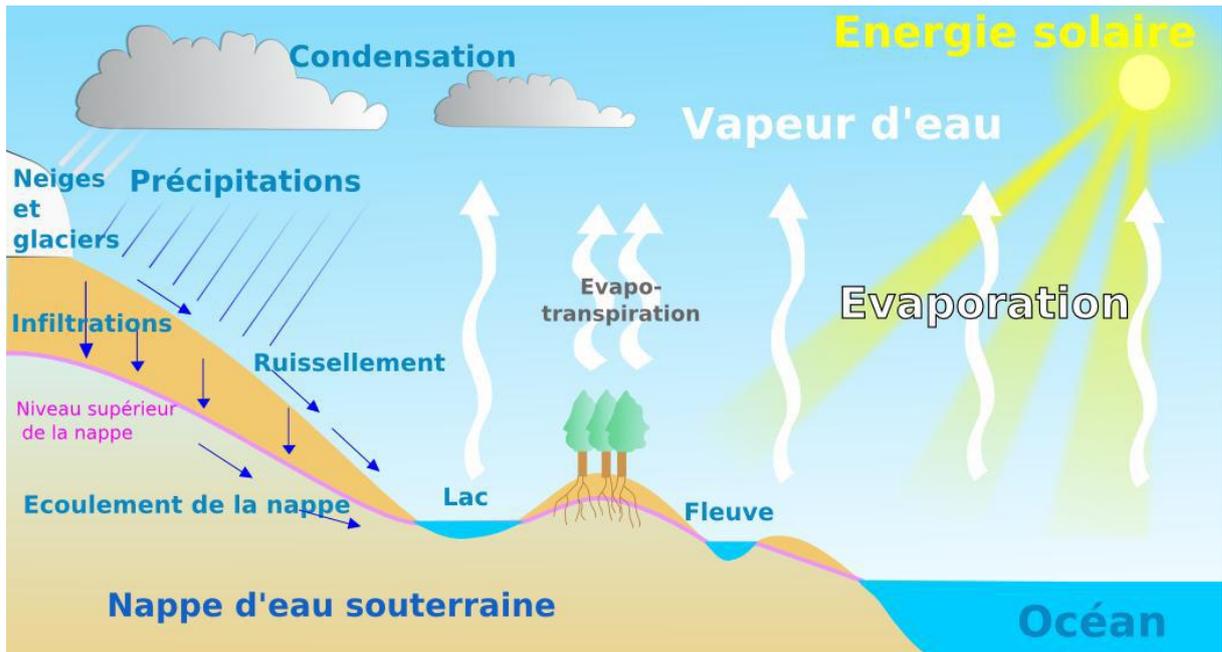


Figure 01 : Cycle de l'eau (Villagines, 2003)

### 3. Sources en eau

#### 3.1. Eaux de surface

Les eaux de surface sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit par des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable (Degremont *et al.* 2005).

Sa température varie en fonction du climat et des saisons (Degremont *et al.*, 2005). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ) (Sari, 2014).

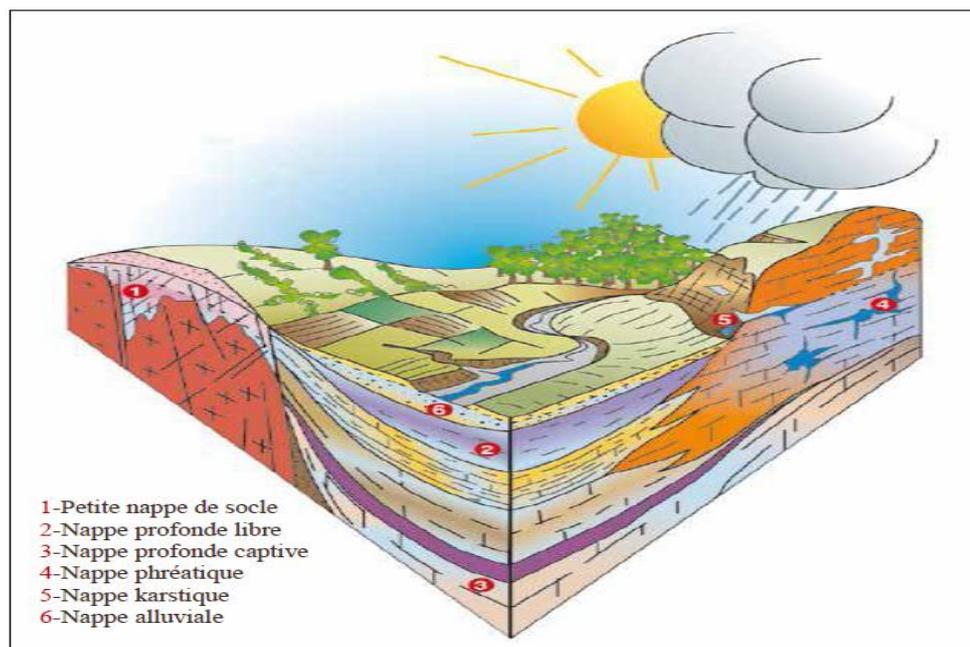
La qualité des eaux de surface varie fortement suivant leurs origines. Selon le cas elles sont naturellement riches en matières en suspension et en matières organiques naturelles, acides peu minéralisées,...elles sont également vulnérables aux pollutions qui la menacent (Kouidri, 2006).

#### 3.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines, comme les eaux de surface, font partie du cycle hydrologique. Les eaux qui ne sont ni ré évaporées, ni retournées à la mer par ruissellement s'infiltrant dans

le sol et le sous-sol et s'y accumulent pour constituer les eaux souterraines. La pénétration et la rétention des eaux dans le sol dépendent des caractéristiques des terrains en cause et notamment de leur structure qui peut permettre la formation de réservoirs aquifères appelés nappes (Merouani et Bouguedah, 2013). Par conséquent la dureté est souvent élevée, et les eaux souterraines peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents comme le calcium ou magnésium. En plus, dans les eaux souterraines, le fer et le magnésium présentent une concentration élevée (Degremont et *al.* 2005). Elles sont généralement d'excellente qualité physico-chimique et bactériologique (Hamed et *al.*, 2012). L'eau peut demeurer longtemps dans un aquifère avant qu'elle soit pompée jusqu'en surface ou vidangée naturellement (CIFIQE, 2011). Elles se réunissent en nappes il existe plusieurs types :

La porosité et la structure du sol déterminent le type de nappe (fig. 2) et le mode de circulation souterraine (OMS, 2000).



**Figure 02** : Différentes nappes d'eau souterraine (AEAG, 2012)

### 3.2.1. Nappe profonde

Se repose sur une couche imperméable plus profonde, elle peut être (Cardot, 1999 ; Degremont et *al.* 2005 ; Arjen, 2010) :

- **Une nappe libre** : Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement. Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient.

- **une nappe captive** : Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle n'est donc pas alimentée directement par le sol et elle se situe à des grandes profondeurs et par conséquent est peu sensible aux pollutions.

### **3.2.2. Nappe phréatique**

Les nappes phréatiques, sont celles qui se reposent sur la première couche imperméable, non loin de niveau du sol. Elles sont toujours libres et souvent contaminées. Ces nappes revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde. Une nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits (Mourey et Vernoux, 2000 ; Bouziani, 2000 ; Arjen, 2010).

### **3.2.3. Nappe alluviale**

Elle contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières, la nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse (OFEFP, 2003).

### **3.2.4. Nappe karstique**

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (leur valeur varie parfois de 1 à 100 au cours de l'année) (Mourey et Vernoux, 2000).

## **4. Types d'eau destinée à la consommation**

Selon Evrard (2015), Il existe trois types d'eaux destinés à la consommation : les eaux de distribution publique (ce qu'on appelle l'eau du robinet), les eaux conditionnées (eaux de source, eaux minérales naturelles), et les eaux de puits privés:

### **4.1. Eau du robinet**

Les eaux du robinet sont souvent constituées d'eaux souterraines puisées dans des nappes phréatiques et même dans certains cas dans des sources, ou d'eaux de surface

prélevées dans les lacs, rivières, fleuves, retenues, etc. Mais elles peuvent aussi être ou constituées d'un mélange des deux origines selon les disponibilités saisonnières et la situation géographique (UFC, 2017).

Avant d'emprunter le réseau de distribution et de parvenir jusqu'au robinet du consommateur, les eaux d'adduction sont majoritairement traitées pour pouvoir répondre aux différents paramètres qui définissent les normes de potabilité définies spécifiquement pour l'eau d'adduction. Pour parvenir potable au robinet, l'eau doit subir un certain nombre de traitements physico-chimiques (mécaniques et chimiques) pour atteindre les normes réglementaires (UFC, 2017).

#### **4.2. Eau minérale naturelle**

Une eau minérale naturelle ne peut être que d'origine souterraine, et s'être constituée à l'abri de tout risque de pollution. Microbiologiquement saine dès l'origine, elle n'est perturbée par aucune contamination d'origine humaine. Les eaux minérales naturelles ont une composition physicochimique stable qui peut leur permettre de se voir reconnaître des propriétés favorables à la santé humaine (UFC, 2017).

#### **4.3. Eau de source**

Les eaux de source sont comme les eaux minérales naturelles, exclusivement d'origine souterraine, microbiologiquement saines, préservées de la pollution d'origine humaine, et aptes à la consommation humaine sans traitement ni adjonction. Contrairement aux eaux minérales naturelles, leur composition n'est pas systématiquement stable. Les eaux de sources répondent aux mêmes critères de potabilité que l'eau du robinet (Vaé, 2009).

### **5. Divers types de puits et de forages**

Un puits à eau ou un forage est un ouvrage de captage vertical permettant l'exploitation de l'eau d'une nappe, contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol qu'on nomme aquifère. L'eau peut être remontée au niveau du sol soit de façon très simple grâce à un récipient (seau par exemple) soit plus facilement grâce à une pompe, manuelle ou motorisée (Wikiwater, 2012).

Les puits et les forages sont très divers, que ce soit par leur profondeur, leur volume d'eau, leur coût ou la pureté de celle-ci, justiciable ou non d'un traitement avant de pouvoir être consommée (Wikiwater, 2012). Il existe trois grandes catégories de puits (tabl. 1) :

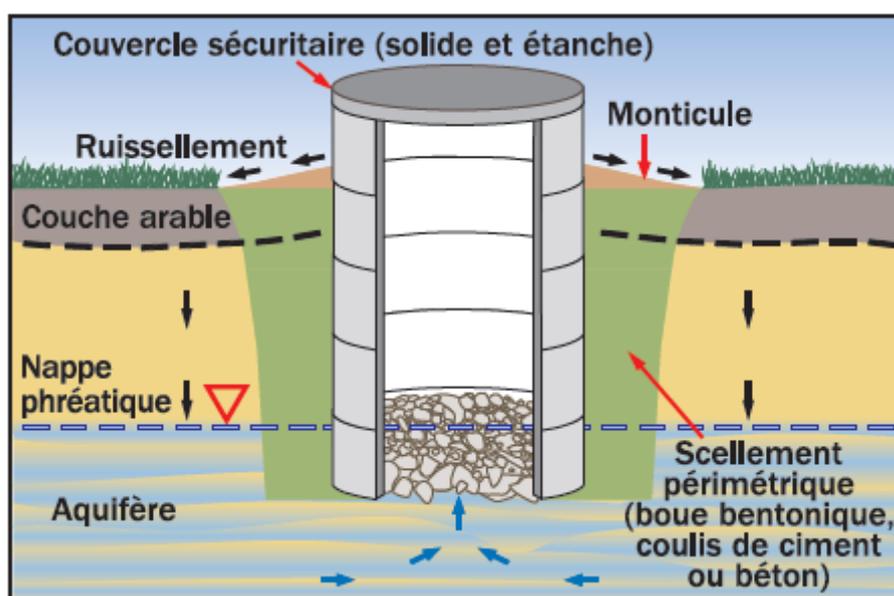
**Tableaux 01** : Indices des différents types de puits (Simpson, 2015)

Diamètre du tubage	Type de puits
Faible diamètre : 10-20 cm	Puits foré à la sondeuse (différents emplacements)
Très faible diamètre : 2.5-5cm	Puits à pointe filtrante (dans les sols peu profonds et sableux).
Grand diamètre : 60-120 cm	Le plus souvent un puits foré à la tarière ou creusé

### 5.1. Puits creusés

Le puits est creusé avec une pelle et une pioche. Elle est moins coûteuse, mais plus fatigante que les autres méthodes. Toutefois, des moyens mécaniques sont utilisés pour éviter les efforts physiques intenses. Le sol doit être suffisamment exploitable et la nappe phréatique peu profonde pour pouvoir avoir recours à cette technique. Généralement, ces puits sont entourés de pierres. Cependant, le cuvelage est une solution plus efficace (Forapulse, 2017).

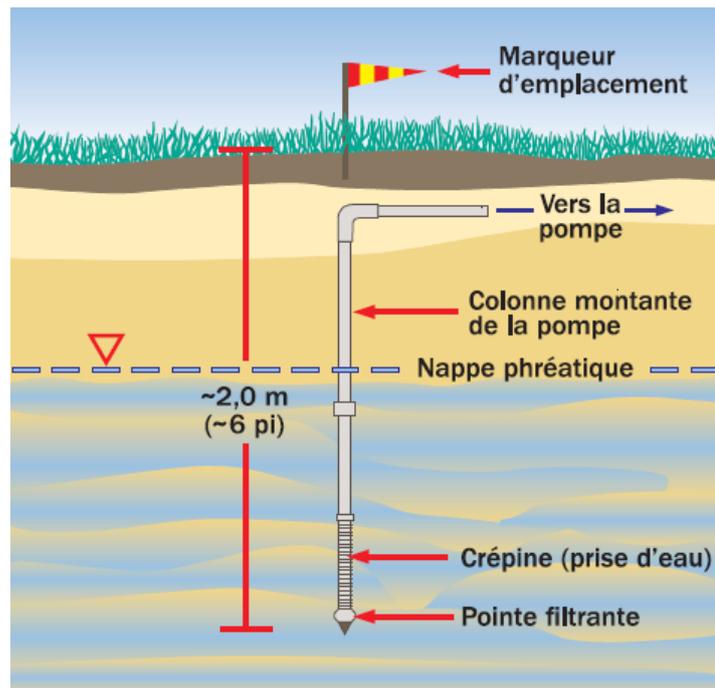
Les puits creusés sont peu profonds et peuvent aller jusqu'à 10 à 20 m de profondeur ; certains font 30 à 40 m, mais ils sont plutôt rares. Compte tenu de cette faible profondeur, ils sont plus facilement exposés à la pollution et à l'assèchement (fig. 3) (Forapulse, 2017).

**Figure 03** : Puits creusés (Simpson, 2015)

### 5.2. Puits à pointe filtrante

Les puits à pointe filtrante (fig. 4), ont un tubage de petit diamètre de 2,5 à 5 cm. Ils sont construits dans des aquifères de sable et de gravier et sont enfouis ou enfoncés (insérés à l'aide d'eau sous pression élevée) dans le sol. Les puits à pointe filtrante ne sont généralement

installés qu'aux endroits où l'aquifère a une nappe phréatique peu profonde et où le sol est composé de sable. Ils n'ont normalement pas plus de 25 pieds de profondeur. Le diagramme ci-dessous montre la construction d'un puits à pointe filtrante typique. En raison du type de construction (enfoui ou enfoncé en place) et du type d'aquifère (libre, peu profond, sable ou gravier), les puits à pointe filtrante sont considérés comme étant très exposés à la contamination. Les contaminants qui se trouvent à la surface du sol ont peu de chemin à parcourir avant d'atteindre la nappe phréatique et l'entrée du puits (N-Brunswick, 2020).



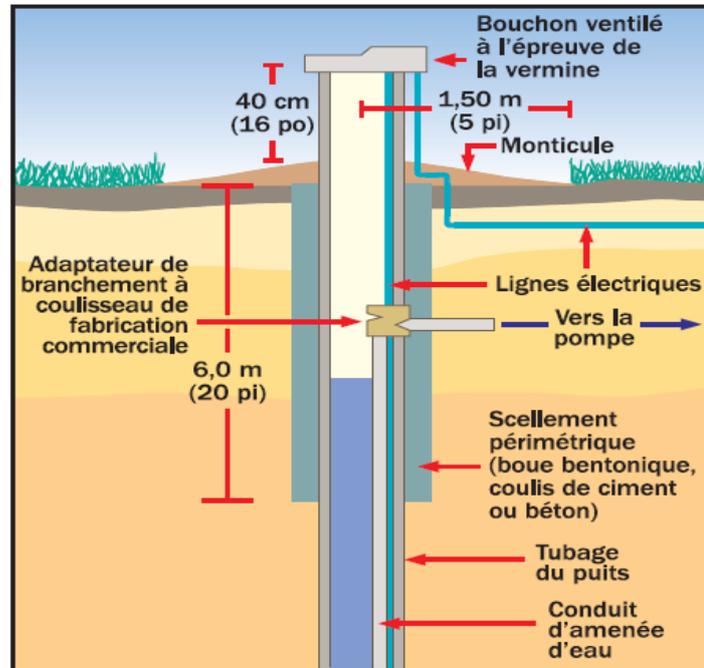
**Figure 04 :** Puits à pointe filtrante (Simpson, 2015)

### 5.3. Puits forés ou forages

Un puits foré est constitué d'un trou foré dans le sol (fig. 5), dont la partie supérieure est pourvue d'un tubage. Ce dernier empêche les parois du puits de s'écrouler et les contaminants de surface ou souterrains de pénétrer dans la source d'approvisionnement en eau. Un filtre est placé au fond du puits afin de prévenir l'afflux de sédiments dans la pompe. Le tubage fournit également un abri pour le mécanisme de pompage et pour le tuyau qui amène l'eau de la pompe à la surface (N-Brunswick, 2020).

La construction d'un puits par une foreuse rotative nécessite l'utilisation de liquide de forage ou d'air comprimé afin d'éliminer les déblais de forage du trou du puits. Les appareils de forage sont souvent montés sur de gros camions. Ils sont munis d'outils de forage rotatifs qui arrachent la roche et de sondeuses à percussion qui l'écrasent, ou, si le sol est mou, de

grandes mèches de tarière. On peut forer ces puits à plus de 1 000 pieds de profondeur, mais généralement les puits à usage domestique ont entre 100 et 200 pieds de profondeur et 6 pouces de diamètre. On place souvent une pompe près du fond afin de faire remonter l'eau vers la surface (N-Brunswick, 2020).



**Figure 05** : Puits forés ou forages (Simpson, 2015)

# Chapitre II :

## *Pollution des eaux*

## Chapitre II : Pollution des eaux

### 1. Pollution d'eau

La pollution d'eau est une altération des qualités naturelles (physiques et chimiques) d'une eau. C'est à la fois l'action et les processus de dégradation des qualités de l'eau. La pollution des eaux souterraines entraîne le risque permanent de limitation de cette ressource dans un proche avenir. Elle résulte essentiellement de l'activité humaine indépendamment de la détérioration naturelle liée aux facteurs géologiques (Boucenna, 2009).

Les principales manifestations de la pollution des eaux de surface sont de nature chimique ou biologique et peuvent être pathogènes pour l'homme (Haddou, 2010). La plupart des sources d'eau potables sont contaminées propagation des grandes épidémies (peste, choléra, typhoïde....etc.) (El-Amrani, 2007).

### 2. Sources de pollution

L'activité humaine, qu'elle soit son origine, industrielle, urbaine ou agricole, produit une quantité de substances polluantes de toute nature qui engendrent de différents types de pollution qui peuvent être permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple), périodiques ou encore accidentelles ou aiguës (Rodier et *al.*, 2009).

#### 2.1. Pollution domestique

La pollution domestique se caractérise par la présence des germe fécaux, de fortes teneurs en matières organique, des sels minéraux et des détergent, elle peut être responsable de l'altération des conditions de transparence et d'oxygénation de l'eau ainsi que du développement de l'eutrophisation dans les rivières (Aissaoui, 2013). Elle est due principalement aux rejets domestiques (eaux de lavage, huiles de vidange, matières fécales, ...etc) (Oubagha, 2011).

#### 2.2. Pollution industrielle

Si la pollution domestique des ressources en eau est relativement constante, les rejets industriels sont, au contraire, caractérisés par leur très grande diversité. Selon le type d'industrie on distingue diverses matières polluantes (Gerard, 1998) :

- Matières organiques et graisses (abattoirs, industrie agroalimentaires...).
- Hydrocarbures (industrie pétrolières, transports).
- Métaux (traitements de surface, métallurgie).

- Acides, bases, produits chimiques divers (industries chimiques, tanneries...).
- Eaux chaudes (circuits de refroidissement des centrales thermiques).
- Matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs)

En moyenne, de 2004 à 2009, le Service de l'Observation et des Statistiques du Ministère en charge du Développement Durable (SOES) en France, a montré que les secteurs de la métallurgie et de la chimie sont responsables des rejets de polluants dans l'eau les plus importants (Benmaïd, 2013).

### **2.3. Pollution agricole**

L'agriculture représente 70 % de la consommation totale d'eau dans le monde et est le plus grand contributeur à la pollution de source non ponctuelle des eaux de surface et des eaux souterraines. L'intensification de l'agriculture s'accompagne souvent d'une augmentation de l'érosion des sols, de la salinité et des charges de sédiments dans l'eau et par l'utilisation excessive (ou abusive) d'intrants agricoles (par exemple les engrais) pour augmenter la productivité. La pollution causée par l'agriculture peut contaminer l'eau, les aliments, le fourrage, les fermes, l'environnement naturel et l'atmosphère. Les pesticides et les engrais utilisés dans l'agriculture peuvent contaminer à la fois les eaux souterraines et les eaux de surface, tout comme les déchets organiques du bétail, les antibiotiques, les effluents d'ensilage et les déchets de traitement des cultures de plantation (WAD, 2017).

## **3. Type de pollution**

### **3.1. Pollution physique**

La contamination physique est causée par des matières (inorganiques) telles que le sable, le limon, l'argile ou de la matière végétale. La contamination physique affecte la couleur, l'odeur ou le goût de l'eau. Cependant il est possible que les usagers refusent d'utiliser l'eau s'ils se trouvent que la couleur, l'odeur ou le goût ne sont pas satisfaisants (En-Health, 2004).

### **3.2. Pollution chimique**

La pollution chimique est définie comme la présence des substances dissoutes indésirables ou dangereuses. Ce sont des corps dépourvus de vie qui peuvent être nuisibles à l'homme (Lanvegin et *al.*, 2001).

### **3.3. Pollution microbiologique**

La pollution microbiologique résulte de la présence dans l'eau de microorganismes qui sont véhiculés par l'eau et sont responsables de beaucoup de maladies hydriques (Belhaj, 2001).

#### **4. Paramètres de la qualité des eaux**

##### **4.1. Paramètres physico-chimiques**

###### **4.1.1. Température**

La Température ( $T^{\circ}$ ) de l'eau n'a pas d'incidence directe sur la santé humaine, mais plutôt me touche indirectement. Elle a une influence directe sur le comportement de différentes substances contenues dans l'eau et à une grande influence sur l'activité biologique (Roux, 1987).

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs (Mahamat, 2010) :

- Situation géographique, la saison.
- La profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface).
- La couleur de l'eau (une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur).
- Le volume de l'eau (plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température).

###### **4.1.2. Potentiel hydrogène**

Le pH d'une eau est une indication de sa tendance à être acide ou alcaline, il est fonction de l'activité des ions hydrogènes  $H^{+}$  présents dans cette eau (Ayad, 2017). Il influence la plupart des mécanismes chimiques et biologiques dans les eaux. Habituellement, les valeurs du pH se situent entre 6 et 8,5 dans les eaux naturelles (Chapman et *al.*, 1996).

Les valeurs anormales du pH provoquent un goût amer à l'eau, affectent les muqueuses, provoquent la corrosion et affinent la vie aquatique (Narasimha et *al.* 2014). Le pH est aussi influencé par la nature du substratum sol, la géologie et l'origine des eaux (Belghiti et *al.*, 2013).

###### **4.1.3. Conductivité électrique**

La conductivité électrique est déterminée par la dissociation en anion et cation des substances en solution dans l'eau. Ce paramètre est un bon indicateur du degré de minéralisation de l'eau (Ben Hida et *al.*, 2012).

La conductivité représente l'un des moyens de valider les analyses physicochimiques de l'eau. En effet, des mesures contrastées sur un milieu permettent de mettre en évidence l'existence de pollution, des zones de mélange ou d'infiltration (Ghazali et Zaid, 2013).

MENS *et al.*, (2000), ont dit la conductivité est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation. Leur valeur est aussi en relation avec la nature des couches géologiques de la nappe ou de la présence des minéraux indésirables (Guergazi et Achour, 2005).

#### **4.1.4. Résidu sec**

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau (Rodier *et al.*, 2005).

Une eau dont la teneur en résidu sec est extrêmement faible peut être inacceptable à la consommation en raison de son goût plat et insipide (WHO, 1994).

#### **4.1.5. Turbidité**

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales : argiles, limons, grains de silice, matières organiques, etc. (Rodier, *et al.*, 2009).

Une forte turbidité de l'eau révèle la précipitation de fer, aluminium ou manganèse due à une oxydation dans le réseau (Jean, 2002) et favorise aussi la fixation et la multiplication des micro-organismes, rendant sa qualité bactériologique suspecte (OMS, 2004).

#### **4.1.6. Qualité organoleptique**

Les paramètres organoleptiques sont : l'odeur, la saveur, et la transparence de l'eau perceptibles par le consommateur. Ils n'ont pas de signification sanitaire précise, mais l'altération de l'un peut impliquer une pollution ou un mauvais fonctionnement du circuit alimentaire en eau (Rodier *et al.*, 1996).

##### **4.1.6.1. Couleur**

La couleur d'une eau est fonction des substances qui y sont présentes (WHO, 2011). Quand sa coloration est due seulement à la présence de substances dissoutes, c'est-à-dire des substances qui peuvent passer au travers d'un filtre de faible porosité (0.45  $\mu\text{m}$ ), la couleur est dite vraie. Si par contre, d'autres substances sont en suspension dans l'eau, elles vont lui donner une couleur apparente à cause de leur propre coloration (Rodier *et al.*, 2009). Quand la

teneur en ces substances est faible, les couleurs apparente et vraie sont relativement la même dans une eau claire. La lixiviation et les débris organiques sont les principales sources de couleur dans l'eau (Hem, 1985).

#### **4.1.6.2. Odeur**

Signe de pollution ou de présence de matières organiques en décomposition (WHO, 2011), l'odeur est un paramètre important qui permet de porter un jugement bref sur la qualité de l'eau. Elle est définie, selon (Rodier et *al.*, 2009), comme l'ensemble des sensations perçues par le nez en aspirant certaines substances volatiles. Dans l'eau destinée à la consommation humaine, aucune odeur ne doit être perçue.

#### **4.1.6.3. Goûts et saveurs**

Les eaux de consommation doivent posséder un goût et une odeur agréable. La plupart des eaux, qu'elles soient ou non traitées, dégagent une odeur plus ou moins perceptible et ont une certaine saveur. Ces deux propriétés, purement organoleptiques, sont extrêmement subjectives et il n'existe aucun appareil pour les mesurer (Monique, 1991). La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (Rodier et *al.*, 2009).

### **4.1.7. Paramètres de pollution**

#### **4.1.7.1. Ammonium**

Dans l'eau, L'azote réduit soluble se retrouve sous deux formes ; l'ion ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et la seconde non dissociée communément appelée ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) (Gaujour, 1995). Dans son état primitif, l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée ( $\text{NH}_4^+$ ) (Rejsek, 2002). Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains (Harvey et *al.*, 2015).

#### **4.1.7.2. Nitrites**

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) sont répandus dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantités relativement faibles. Ils résultent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates (Bouziani, 2000 ; Savary, 2010). Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac (Harvey

et *al.*, 2015). Leur présence dans les eaux naturelles est faible (Rejesk, 2002), ils sont rapidement transformés en nitrates dans les sources d'eau potable (Lepeltier, 2005).

#### 4.1.7.3. Nitrates

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique (la forme la plus oxygénée de l'azote) (Bremond et Vuichard, 1973). Présents à l'état naturel et solubles dans le sol (Chapman et *al.*, 1996). Les nitrates à cause de leur solubilité dans l'eau, ils pénètrent le sol et les eaux souterraines où se déversent dans les cours d'eau par ruissellement. Ils constituent une des causes majeures de la dégradation des eaux à long terme (Lepeltier, 2005).

La présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution (Morabbi et Souabni, 2013). Les nitrates sont donc fortement liés à la quantité de matières organiques présente et aux conditions de milieu. Les actions anthropiques sont donc importantes : utilisation d'engrais azotés et de lisier. De même, les rejets de stations d'épuration ou plus simplement de latrines et fosses septiques représentent un apport en matières organiques susceptibles de produire des nitrates (Demdoum, 2010).

#### 4.1.7.4. Phosphates

Les phosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) sont des composés essentiels à la vie, mais leur excès dans l'eau peut causer ce qu'on appelle l'eutrophisation du milieu, c'est-à-dire la modification et la dégradation d'un milieu aquatique. Les phosphates proviennent principalement de l'activité agricole, les eaux usées domestiques et de l'activité industrielle (Morabbi et Souabni, 2013).

#### 4.1.7.5. Fer

Le fer ( $\text{Fe}^{2+}$ ) est un métal assez soluble que l'on peut retrouver dans l'eau et qui précipite par oxydation à l'air (Bouziani, 2000). Ce métal se classe en 4ème rang des éléments de la croûte terrestre (Rodier et *al.*, 2005). Le fer est soluble à l'état d'ion  $\text{Fe}^{2+}$  (ion ferreux) mais insoluble à l'état  $\text{Fe}^{3+}$  (ion ferrique) (Guillemin et Roux, 1992). Qui peut avoir pour origine des terrains traversés ou les pollutions industrielles, dans les eaux de distribution, il provient plus souvent de la corrosion des conduites d'aménagements (Hamed et *al.*, 2012). Dans la nutrition humaine, il joue un rôle essentiel. La dotation minimale journalière en fer dans l'organisme varie de 10 à 50 mg en fonction de l'âge, du sexe, de sa biodisponibilité et de l'état physiologique de la personne considérée (WHO, 2011).

#### 4.1.7.6. Demande biochimique en oxygène

La demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) est la concentration, en masse d'oxygène dissous, consommée pour l'oxydation par voie biochimique des matières organiques contenues dans l'échantillon (Rodier et *al.*, 2009) les substances organiques contenues dans un échantillon d'eau maintenu dans l'obscurité, pendant 5 jours. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire (Khelili et Lazali, 2015).

#### 4.1.7.7. Demande chimique en oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies (Rodier et *al.*, 2009).

### 4.2. Minéralisation globale

#### 4.2.1. Titre hydrotimétrique

Le titre hydrotimétrique (TH) ou dureté totale est relatif à l'ensemble des cations métalliques présents, à l'exception des ions alcalins. Il renseigne sur la teneur en Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup> etc. En général le TH est assimilé à la teneur en calcium et magnésium, éléments dominants dans les eaux naturelles. Les eaux dures s'opposent à la cuisson des aliments et se prêtent mal à la lessive : elles empêchent le savon de mousser (Bengaibona, 2010).

Le TH ne présente aucun risque pour la santé, mais peut provoquer l'entartrage des installations de chauffage, des fers à repasser ou des cafetières électriques. Sa grandeur dépend de la géologie du sol qu'elle traverse et en général elle varie très peu dans le temps. Une eau dure consommera plus de détergents et d'adoucissant dont les rejets sont indésirables dans l'environnement (Bengaibona, 2010).

#### 4.2.2. Calcium

Le calcium (Ca<sup>2+</sup>) est l'élément présent dans toutes les eaux naturelles (Benamar et *al.*, 2011). Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches sous forme des carbonates, (Rodier et *al.*, 1996). Il existe principalement à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme sulfate, chlorure...etc. (Rodier et *al.*, 2005).

Le calcium est un élément constituant la dureté de l'eau et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés. Le calcium est généralement l'élément

dominant des eaux potables (Boucherit et Hakimi, 2016). La présence de cet élément dans les eaux a pour origine la dissolution des formations carbonatées et gypseuses (Bremond et Vuichard, 1973).

#### 4.2.3. Magnésium

L'ion Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) constitue l'élément significatif de la dureté de l'eau avec les ions calcium, c'est l'un des éléments les plus répandus dans la nature (Rodier et *al.*, 2009). Ses origines sont comparables à celle du calcium, car il provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium (Magnésite et dolomites). (Debieche, 2002). Son abondance géologique, sa grande solubilité, sa large utilisation industrielle font que les teneurs dans l'eau peuvent être importants (SEVESC, 2013).

#### 4.2.4. Sodium

Le sodium ( $Na^+$ ) est un élément constant de l'eau, toutefois, les concentrations peuvent être extrêmement variables allant de quelques dizaines de milligrammes à 500 mg/l et même au-delà. , le sel peut provenir (Rodier et *al.*, 2005) :

- De l'altération des minéraux silicatés, échanges de cations avec les minéraux argileux ou des substances organiques.
- Des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères;
- Des rejets des eaux usées, ainsi que l'épandage des engrais chimiques qui augmentent aussi les concentrations en sodium.
- Des nombreux usages industriels.
- Des apports atmosphériques etc...

Dans les eaux souterraines non polluées et sans contact avec des évaporites, la teneur en sodium se situe entre 1 et 20 mg/l (Matthess et *al.*, 1994).

#### 4.2.5. Potassium

Le potassium ( $K^+$ ) est étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau. Sa présence est très répandue dans la nature sous forme de sels. (Mercier, 2000). Le potassium provient de l'altération des formations silicatées (gneiss, schistes), des argiles potassiques, de certains rejets industriels et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) (Rodier et *al.*, 2005).

D'après Coulibaly (2005), le potassium joue un rôle essentiel chez l'homme pour lequel les besoins de l'organisme sont de l'ordre de 1.5 à 4 g/jour. Une carence en potassium provoque des dysfonctionnements cardiaques.

#### 4.2.6. Chlorure

Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) sont très répandus dans la nature généralement sous forme de sels du sodium ( $\text{NaCl}$ ), de potassium ( $\text{KCl}$ ) et de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ) (SEVESC, 2013). L'ion chlorure n'est pas adsorbé par les formations géologiques, reste très mobile et ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques. Il constitue un bon indicateur de la pollution (Chaker et Slimani, 2014).

Les teneurs en chlorures des eaux extrêmement variées sont liées principalement à la nature des terrains traversés. Le gros inconvénient des chlorures est la saveur désagréable qu'ils confèrent à l'eau à partir de 250 mg/l surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium (Rodier *et al.*, 2005).

#### 4.2.7. Alcalinité

Titre alcalimétrique (TA) et titre alcalimétrique complet (TAC), L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence des carbonates et hydroxydes (Rodier *et al.*, 2009). Le TA permet de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. Le TAC assure la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates (Henri, 1990).

#### 4.2.8. Sulfate

Le soufre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) est un élément non métallique qui existe à l'état naturel dans les sols et les roches sous forme organique (soufre protéique) et à l'état minéral (sulfures, sulfates et soufre élémentaire) (Ghazali et Zaid, 2012).

Les origines naturelles des sulfates sont l'eau de pluie et la mise en solution de roches sédimentaires évaporitiques notamment le gypse ( $\text{CaSO}_4$ ), mais également de la pyrite ( $\text{FeS}$ ) 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 et, l'utilisation d'engrais chimiques et de lessive (Barry, 1989). La transformation réversible des sulfates en sulfures se fait grâce au cycle du soufre (Peck, 1970).

### **4.3. Paramètres bactériologiques**

#### **4.3.1. Coliformes totaux**

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau appartiennent à la famille des Entérobactéries ; ce sont des microorganismes en forme de bâtonnets, non sporogènes, à Gram négatif, ne possédant pas d'oxydase, aérobies ou anaérobies facultatifs (El-Blidi et *al.*, 2006), possédant l'enzyme  $\beta$ -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35°C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié (Archibald, 2000 ; CEAEQ, 2000 ; Edberg et *al.*, 2000). Ce groupe composé des principaux genres suivants: Citrobacter, Enterobacter, Escherichia, Klebsiella et Serratia (Chevalier, 2003) La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'Escherichia coli (E. coli) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes (Edberg et *al.*, 2000 ; OMS, 2000).

#### **4.3.2. Coliformes fécaux**

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux ont la capacité de fermenter le lactose à une température de 44,5°C (Elmund et *al.*, 1999 ; Edberg et *al.*, 2000). L'espèce la plus fréquemment associée à ce groupe bactérien est Escherichia coli (E. coli) (Roux, 2003). Les Escherichia coli sont des coliformes thermo-tolérants ayant la particularité de produire de l'indole à partir du tryptophane présent dans le milieu à une température comprise entre  $42 \pm 2^\circ\text{C}$ . (Bourgeois et Leveau, 1980). E. coli est considérée en fait comme le meilleur indicateur de contamination fécale de l'eau (Edberg et *al.*, 2000) représente toutefois 80 à 90% des coliformes fécaux détectés bien que la présence de coliformes fécaux témoigne habituellement d'une contamination d'origine fécale. (Carbonnelle et *al.*, 1998 ; Délarras et Trebaol, 2003 ; Archibald et, 2003).

#### **4.3.3. Streptocoques fécaux**

Certains streptocoques fécaux sont très apparentés aux entérocoques et sont encore utilisés à titre d'indicateurs de contamination fécale (Gleeson et Gray, 1997). Sont des bactéries qui se présentent sous forme de cocci à Gram positive, sphériques ou ovoïdes formant des chainettes, (Bourgeois et Leveau, 1980). Ne possédant pas de catalase. Ils sont capables de se développer en 24 à 48 heures à 37 °C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus hydrolysent

l'esculine en 2 heures à 44 °C (Labres et *al.*, 2008). Ce sont plutôt des microorganismes pathogènes opportunistes infectant des personnes à risque comme les immunodéprimées (Edmond et *al.*, 1995 ; Madani et *al.*, 1999).

#### 4.3.4. Clostridium sulfito-réducteur

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram+, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie (VF) en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium ( $\text{Na}_2 \text{SO}_3$ ) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de  $\text{Fe}^{2+}$  donne  $\text{FeS}$  (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne (Rejsek, 2002). La forme spore beaucoup plus résistante que les formes végétatives, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux ce sont encore des germes telluriques et que, de ce fait, aucune spécificité d'origine fécale ne peut être attribuée à leur mise en évidence (Rodier et *al.*, 2009).

## 5. Normes de potabilité

Globalement, les qualités de l'eau de boisson doit obéir à des normes définies par une réglementation nationale. Il peut en résulter, pour un pays ou une région donnée, des dispositions réglementaires différentes de la qualité de l'eau, par rapport aux normes internationales (Bouziani, 2000).

En Algérie, le décret exécutif n°11-125 du 18 Rabie Ethani 1432 correspondant au 23 mars 2011, du Journal Officiel de la République Algérienne (JORA), a pour objet de fixer les paramètres de la qualité de l'eau de consommation humaine. Les paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation humaine fixées par ce décret sont représentés dans le tableau ci-dessous (tabl. 2).

**Tableau 02 :** Paramètres et valeurs limites de la qualité de l'eau de consommation humaine (Rodier et *al.*, 2009 ; JORA, 2011 )

Paramètre	Norme Algérienne	Norme OMS	Unité
Température	25	-	C°
Couleur	15	15	Unités (mg/Pt)
Odeur à 12°C	4	-	Taux dilution
Saveur à 12°C	4	-	Taux dilution
Turbidité	5	5	Unités N.T.U
pH	$\geq 6.5$ et $\leq 9$	6,5 et 9,5	-
Conductivité	2800	1500	$\mu\text{S}/\text{cm}$
Résidus secs	1500	1000	mg/l
Alcalinité	500		mg/l en $\text{CaCO}_3$

Ammonium	0.5	1,5	mg/l
Nitrate	50	50	mg/l
Nitrite	0.2	0,2	mg/l
Phosphore	5	-	mg/l
DBO <sub>5</sub>	-	3	mg/l d'O
DCO	-	.30	mg/l d'O <sub>2</sub>
Chlorure	500	250	mg/l
Sodium	200	200	mg/l
Potassium	12	-	mg/l
Sulfates	400	250	mg/l
Aluminium	0.2	0,2	mg/l
L'arsenic	0.01	0,01	mg/l
Baryum	0.7	0,7	mg/l
Bore	1	0,3	mg/l
Cadmium	3	3	µg/l
Calcium	200	-	mg/l en CaCO <sub>3</sub>
Chrome	0.05	0,05	mg/l
Chlorures	500	-	mg/l
Cuivre	2	2	mg/l
Cyanures	0.07	0,07	mg/l
Durété	200	-	mg/l en CaCO <sub>3</sub>
Fer total	0.3	-	mg/l
Fluorure	1.5	1,5	mg/l
Magnésium	200	200	mg/l
Manganèse	50	100	µg/l
Mercure	6	1	µg/l
Plomb	10	10	µg/l
Zinc	5	3	mg/l
Escherichia coli	0	0	nombre/100 ml
Entérocoques	0	0	nombre/100 ml
Clostridium sulfitoréducteur	0	0	nombre/100 ml

## 6. Maladies hydriques

Pour l'OMS, « La bonne qualité de l'eau de boisson fait d'avantage pour la santé publique que n'importe quel vaccin ou médicament ! (Koltz, 2010)». L'eau insalubre constitue la première cause de mortalité sur la planète devant la malnutrition à cause des agents pathogènes (virus, bactéries, parasites) et polluants divers qu'elle véhicule (pesticides, arsenic, fluor,...). 80 % des maladies dans les pays pauvres du Sud se propagent par la consommation de l'eau contaminée, le manque d'hygiène et la pauvreté (Bouziani, 2006).

### 6.1. Risque microbiologique d'origine hydrique (effet à court terme)

Lebleu (2007), affirme que le risque microbiologique d'origine hydrique (ou risque infectieux) correspond à la présence dans l'eau de microorganismes pathogènes, ou

potentiellement pathogènes (opportunistes) et ce en quantité supérieure au seuil d'infection fixé par l'OMS. Parmi ces microorganismes, on distingue les virus, les bactéries et les protozoaires. Le risque microbiologique provient donc du pouvoir pathogène de ces germes qui est conditionné non seulement par les propriétés de l'agent infectieux, mais aussi par la réceptivité de l'hôte (tabl. 3).

**Tableau 03:** Principales maladies d'origine hydrique et leurs agents responsables (Bazine et Bourenane, 2011)

Maladies	Agents
<p><b>Origine bactérienne</b></p> <p>La typhoïde et la paratyphoïde</p> <p>La dysenterie bacillaire</p> <p>le choléra</p> <p>la Gastro-entérite aiguë et la diarrhée</p>	<p><i>Salmonella typhique</i></p> <p><i>Salmonella paratyphique A et B</i></p> <p><i>Shigella sp</i></p> <p><i>Vibrio cholerae</i></p> <p><i>Escherichia coli Entérottoxique</i></p> <p><i>Amylobacter</i></p> <p><i>Yersinia enterocolitica</i></p> <p><i>Salmonella sp .</i></p> <p><i>Shigella sp.</i></p>
<p><b>Origine virale</b></p> <p>L'hépatite A et E</p> <p>La poliomyélite</p> <p>La Gastro-entérite aiguë et Chronique</p>	<p>Virus de l'hépatite A et E</p> <p>Virus de la poliomyélite</p> <p>Virus de Norwalk</p> <p>Rota virus</p> <p>Entérovirus</p> <p>Adénovirus</p>
<p><b>Origine parasitaire</b></p> <p>dysenterie amibienne</p> <p>parasite gastro-entérite</p>	<p><i>Endameba histolytic</i></p> <p><i>Guardia labia</i></p> <p><i>Cryptosporidium</i></p>

### 6.1.1. Choléra

Le choléra est une maladie à incubation courte (quelques heures à 5 jours) due à une bactérie *Vibrio cholerae* dont le principal vecteur est l'homme (Bengaibona, 2010).

Selon Tourab (2013), c'est une maladie à transmission oro-fécale due par *Vibrio cholerae* qui libère une exotoxine thermolabile et entraîne une hypersécrétion d'eau. Le volume d'eau éliminé peut atteindre 15 à 20 l/jour. Les selles diarrhéiques libérées en grande quantité sont responsables de la propagation des bacilles dans l'environnement et de transmission oro-fécale.

### **6.1.2. Fièvre typhoïde**

C'est une maladie bactérienne transmissible strictement humaine. Elle est provoquée par des salmonelles que l'on trouve dans le lait, la nourriture ou l'eau contaminée (Rogaux, 1991 ; Jamaï et *al.*, 2010), dues à des salmonelles (*salmonella typhus* et *paratyphus*) (Baziz, 2008). Son diagnostic est souvent difficile d'où l'importance d'évoquer une typhoïde devant toute fièvre qui dure, habituellement associée à des troubles digestifs ou neurologiques (Rogaux, 1991 ; Jamaï et *al.* 2010).

### **6.1.3. Shigellose**

La shigellose est une infection due aux bactéries Gram négatives *Shigella*. Elle est responsable d'une diarrhée aqueuse ou dysenterie (émission fréquente et souvent douloureuse de petites quantités de selles contenant du sang, du pus et du mucus) (Larry et *al.*, 2020).

La contamination est féco-orale, direct par contact interhumain avec des malades ou des porteurs asymptomatiques, en particulier par manu portage, ou par ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par les selles la cible principale est l'enfant de moins de 5 ans, rarement atteint avant 6 mois s'il est nourri au lait maternel, le vieillard, la femme enceinte et le sujet immunodéprimé (Bengaibona, 2010).

### **6.1.4. Paludisme**

Le paludisme la maladie infectieuse parasitaire la plus importante dans le monde est transmis par les moustiques qui se reproduisent en eau douce ou parfois en eau saumâtre (OMS, 2020). Le paludisme n'a pour origine ni un virus ni une bactérie, mais un parasite formé d'une cellule unique qui se multiplie dans les globules rouges des êtres humains. On ne peut contracter le paludisme que par une piqûre de moustique infecté ou par une transfusion sanguine d'une personne infectée (Anofel, 2014).

### **6.1.5. Gastro-entérite**

La gastro-entérite est une inflammation de la muqueuse de l'estomac, de l'intestin

grêle et du gros intestin. Elle est le plus souvent causée par une infection par un micro-organisme, mais l'ingestion de toxines chimiques ou de médicaments peut également en être la cause (Thomas et *al.*, 2019).

Cette pathologie est due dans la majorité des cas à un virus ou plus rarement à des bactéries. La gastro-entérite bactérienne est généralement transmise par l'eau ou par les aliments souillés et causée par des salmonelles, des staphylocoques et des shigelles (Masschelein, 1996 ; Hordé, 2014).

#### **6.1.6. Hépatites A et E**

L'hépatite virale est une inflammation du foie, le plus souvent provoquée par une infection virale. Les cinq virus des hépatites A, B, C, D et E provoquent des affections de sévérité et d'évolution diverses (Elmdaghri, 2016).

En général les hépatites de type A et E sont à transmission hydrique et peuvent atteindre des proportions endémiques. Elles se manifestent par une infection du foie s'accompagnant de vomissements, de céphalées et de fièvres pouvant entraîner la mort par insuffisance hépatique (Cherif, 2006).

#### **6.1.7. Poliomyélite**

C'est une maladie strictement humaine considéré comme un paralysé infantile, causé par un virus appelé poliovirus qui infecte la substance grise de la moelle épinière (Bouras et Sekfali, 2013). Elle se transmet par l'intermédiaire de la nourriture et de l'eau contaminées par les matières fécales (excréments) des personnes infectée (Aubry, 2014).

### **6.2. Risque chimique d'origine hydrique (effet à long terme)**

L'être humain trouve une grande part de ses besoins en substances minérales dans l'eau de boisson. C'est en général la présence d'un excès de certains éléments qui peut induire soit directement, soit indirectement, des effets néfastes pour la santé (Ayad, 2017). Les effets ne se manifestent généralement qu'à moyen ou long terme et peuvent prendre des formes très diverses telles que cancérogénicité, mutagénicité, troubles métaboliques (Savary, 2010).

A moyen terme, des pathologies ont été identifiées, induites par le fluor c'est la fluorose dentaire qui peut être apparaitre à partir de 4 mg/l de fluor, ou les nitrates qui se transforment en nitrites dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, surtout chez les nourrissons (Laferrriere et *al.*, 1995).

A long terme, le rôle néfaste de macroconstituants des eaux (sodium, dureté, etc.) n'a pas été confirmé. En revanche, certains microconstituants sont réellement impliqués dans un risque hydrique, tels des métaux lourds (plomb, cadmium) ; Le plomb par exemple passe dans le sang et va perturber de nombreux mécanismes biochimiques, touchant principalement le système nerveux mais ainsi d'autres fonctions, comme la reproduction Les enfants exposés de manière prolongée à de faibles doses de plomb peuvent aussi développer un saturnisme : Une maladie caractérisée par divers troubles pouvant être irréversibles (Laurence, 2003 ; Douard et Lebental, 2013).

D'autres interrogations subsistent pour certaines molécules organiques comme les pesticides et d'une manière plus générale, pour les sous-produits minéraux ou organiques de la désinfection (chloration surtout) des eaux, en termes de risque cancérigène (Morris, 1995 ; Cantor, 1997).

# Chapitre III :

## *Matériel d'étude*

## Chapitre III : Matériel d'étude

### 1. Choix de la région d'étude

En Algérie, la principale source de satisfaction de la demande en eau est l'eau souterraine. La croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent un grand problème de détérioration de la qualité de cette source souterraine (Abdelbaki et Boukli Hacene, 2007).

L'étude physico-chimique de l'eau souterraine joue un rôle important dans la détermination de sa qualité, donc de la possibilité de son utilisation pour l'alimentation en eau potable.

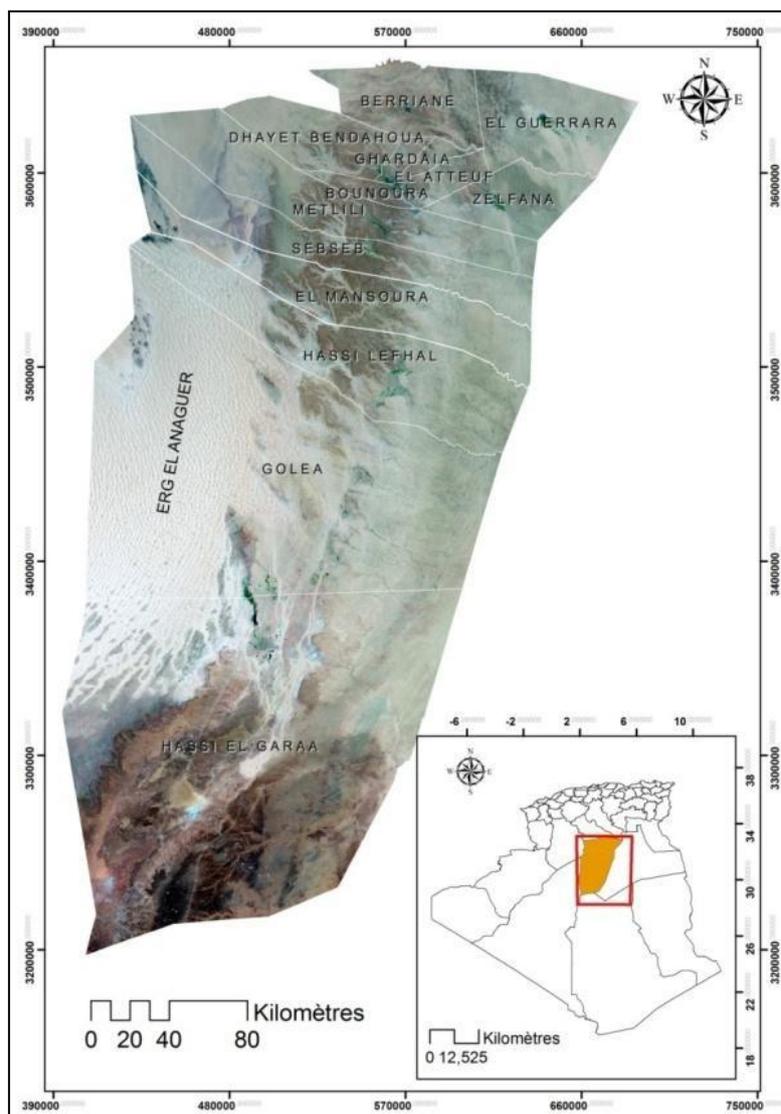
Dans ce contexte, notre étude est réalisée à Oued M'Zab, elle a été choisie pour déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de l'Oued M'Zab, afin d'apprécier leur potabilité, et leur impact sur l'homme et l'environnement.

### 2. Présentation de la région d'étude

#### 2.1. Situation géographique

Ghardaïa, est l'une de plus importantes Wilayas du Sud d'Algérie qui se localise dans la partie septentrionale et centrale du Sahara ( $32,5^\circ$  N et  $3,75^\circ$  E). Elle s'étend sur une superficie de  $84660,12 \text{ km}^2$ , divisée en 13 communes et 7 daïras. Elle se présente essentiellement sous forme d'étendus massifs de dunes à l'Ouest (Erg El Anagueur), de plateaux crétacés découpés en petites vallées irrégulières au centre (Chebkas), de plaines caillouteuses à l'Est (Reg) et de dépressions de dimensions variables, en particulier au nord-est dans la commune de Guerrara (Dayas) (fig. 6) (Oulad-Heddar et *al.*, 2018). Elle est limitée (ANDI, 2013):

- Au Nord par les wilayas de Laghouat et de Djelfa.
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset.
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla.
- A l'Ouest par les wilayas d'Adrar et d'El-Bayad.



**Figure 06 :** Wilaya de Ghardaïa, localisation et cadre administratif (Oulad-Heddar et *al.*, 2018)

La vallée du M'Zab couvre une superficie de 50 Km<sup>2</sup>, et elle est située dans l'enceinte du bassin hydrographique du Sahara. Traversée par quatre oueds qui drainent les plateaux des dayas et la dorsale du mozabite, son exutoire naturel est la sebkhat Sefioune près d'Ouargla (Djoudi et Rafa, 2009).

Géographiquement la vallée du M'Zab est comprise entre 32° 26' et 32° 31' de latitude Nord et 3° 37' et 3° 46' de longitude Est. Elle est alignée approximativement NW-SE en partant de Bouchen zone de confluence de l'oued El Haimeur (Laadiraa) avec l'oued Touzuz jusqu'à El Atteuf sur une longueur de 23.50 km. La largeur de la vallée varie entre 2.35 et 1.50 km en amont et diminue au fur et à mesure vers l'aval pour atteindre 0.55 km tout au sud de la ville d'El Atteuf (fig. 7) (Achour, 2014).

Les altitudes quant à elles sont relativement faibles, elles diminuent progressivement de l'amont vers l'aval, 514 à 508 mètres à Bouchen, 505 à 485 mètres au niveau de la ville de



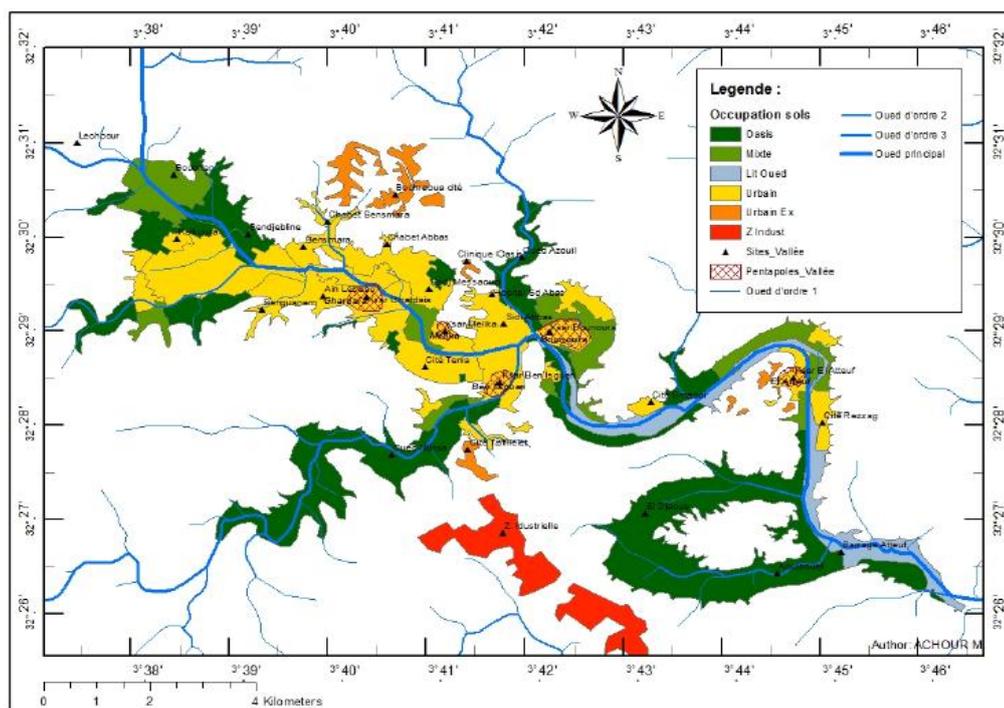
### **2.3. Pédologie**

Généralement, les sols de la région de Ghardaïa sont squelettiques suite à l'action de l'érosion éolienne. Cependant, ils sont souvent marqués par la présence en surface d'un abondant argileux de type « Hamada », alors que dans les dépressions, ils sont plus riches grâce à l'accumulation des dépôts alluviaux (Kaci, 2005).

Les sols alluviaux de la vallée du M'Zab et ses affluents sont les plus favorables à l'agriculture (Daddi Bouhoun, 1997), ils appartiennent aux sols peu évolués par contre la dorsale du M'Zab qui entoure la vallée appartient aux Regs autochtones (Pavard, 1975). Ils sont d'apport alluvial et éolien (Khadraoui, 2010). Ces sols sont peu à modérément calcaires, alcalins à fortement alcalins et présentent une faible teneur en gypse. La CEC est moyennement faible ainsi que la matière organique (Daddi Bouhoun, 1997).

### **2.4. Occupation du sol de la vallée de M'Zab**

La carte présentée par Achour (2014), montre que sur surface totale de la vallée digitalisée de 31,18 Km<sup>2</sup> soit 3118,8 hectares ; 30 % est occupée par l'urbanisme soit 10.63 hectares. Les oasis dans la vallée occupent une surface de 14,10 hectares, soit 40 % de surface totale. Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'Zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'Zab ; oued N'tissa et oued Azuil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11 % de la surface totale soit 3.83 hectares. Les zones urbaines sont localisées principalement, autour des vieux Ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes (fig. 9).



**Figure 09 :** Carte d'occupation des sols de la vallée de M'Zab (Achour, 2014)

## 2.5. Hydrologie

Les eaux de surface sont rares, comme dans toutes les régions sahariennes. L'écoulement de l'oued M'Zab est intermittent, il se manifeste à la suite des averses orageuse. Les crues de l'oued M'Zab qui estime les débits décennale et centennale à 205 et 722 m<sup>3</sup>/s, leur conséquences sont parfois catastrophiques et les dégâts sont souvent remarquables. Pour les crues de faible ampleur, un système hydraulique formé d'une série de petits barrages et des galeries souterraines a été insaturée (Bensaha et *al.*, 2011).

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab, ils drainent en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est (ANRH, 2010).

## 2.6. Géologie

Du point de vue géologique, la wilaya de Ghardaïa est située aux bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara, sur un grand plateau subhorizontal de massifs calcaires d'âge Turonien appelé couramment " la dorsale du M'Zab". L'épaisseur de ses massifs calcaires recoupés par les sondages est de l'ordre de 110 mètres. Sous les calcaires turoniens on recoupe une couche imperméable de 220 mètres formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite; elle est attribuée au Cénomaniens. L'étage de l'Albien est représenté par une

masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Elle abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 300 mètres. Les alluvions quaternaires formées de sables, galets et argiles tapissent le fond des vallées des oueds de la dorsale, d'une épaisseur de 20 à 35 mètres. Ces alluvions abritent des nappes superficielles d'Inféro-flux (nappes phréatiques) (fig. 10) (ANRH, 2011).

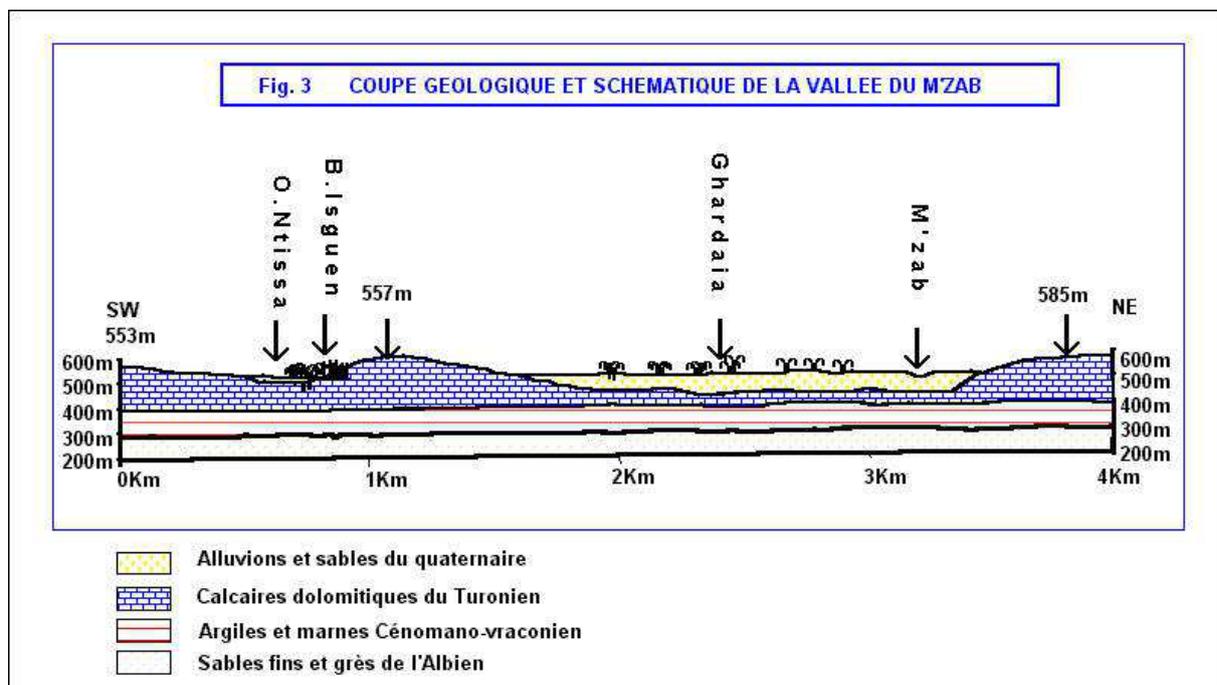


Figure 10 : Coupe géologique schématique de la vallée de M'Zab (ANRH, 2011)

## 2.7. Hydrogéologie

### 2.7.1. Nappe phréatique

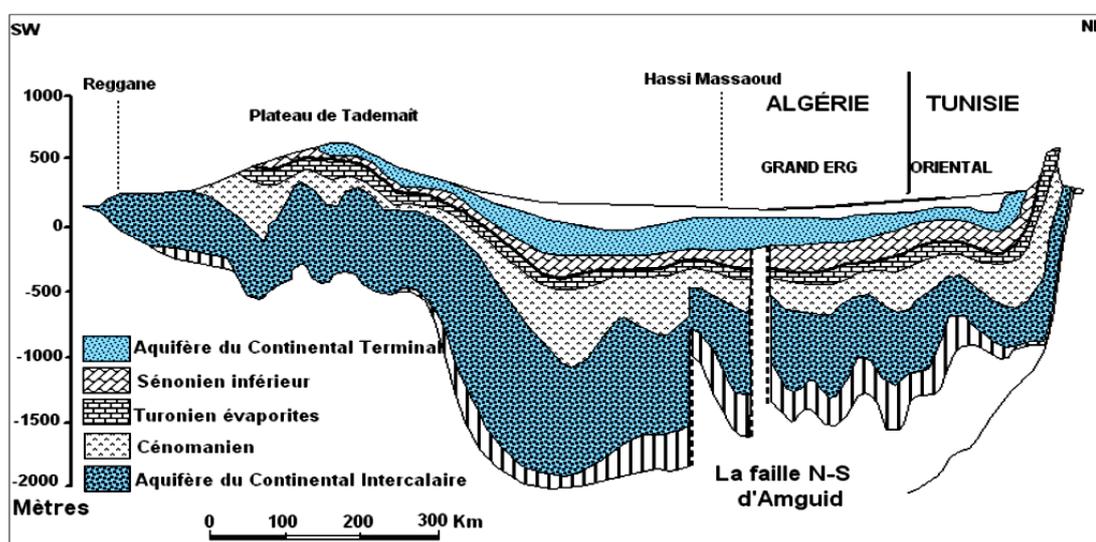
La nappe phréatique du M'Zab a une extension Nord - Sud sous forme d'une large bande occupant l'essentiel de la partie Nord de la Chebka (Bneder, 1988). Cette nappe se trouve dans les alluvions du lit de l'Oued M'Zab, l'eau s'emmagasine après les crues. Cette nappe s'épuise facilement surtout, durant les années de sécheresse. Il peut y avoir quelques fois un appoint souterrain par les fissures de la base des calcaires turoniens (Karpoff, 1952). La profondeur de la nappe sous le sol alluvial de la vallée du M'Zab varie selon les saisons et les palmeraies. Ville (1872), a donné les profondeurs moyennes de la nappe d'eau. Elle est de 29 m en moyenne sur l'Oued M'Zab. La profondeur de la nappe varie en fonction de la topographie dans les vallées des oueds, la profondeur oscille entre 5 et 30 m et augmente sensiblement vers le Sud -Est ; ans les zones hautes, elle peut atteindre 130 m.

D'une manière générale, leur qualité chimique est : à l'amont, elle est bonne à la consommation, à l'aval, elle est mauvaise et impropre à la consommation, contaminée par les eaux urbaines (Fennich, 2016).

### 2.7.2. Nappe de continentale intercalaire

Cette nappe couvre une surface de 600.000 km<sup>2</sup> et renferme 50000 milliards de m<sup>3</sup> en réserve. Elle occupe la totalité du Sahara septentrional algérien, et se prolonge dans le sud de la Tunisie et le Nord de la Libye (fig. 11) (Bensemaoune, 2008). D'une façon générale, les formations gréseuses et gréso-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 700 m (Fennich, 2016).

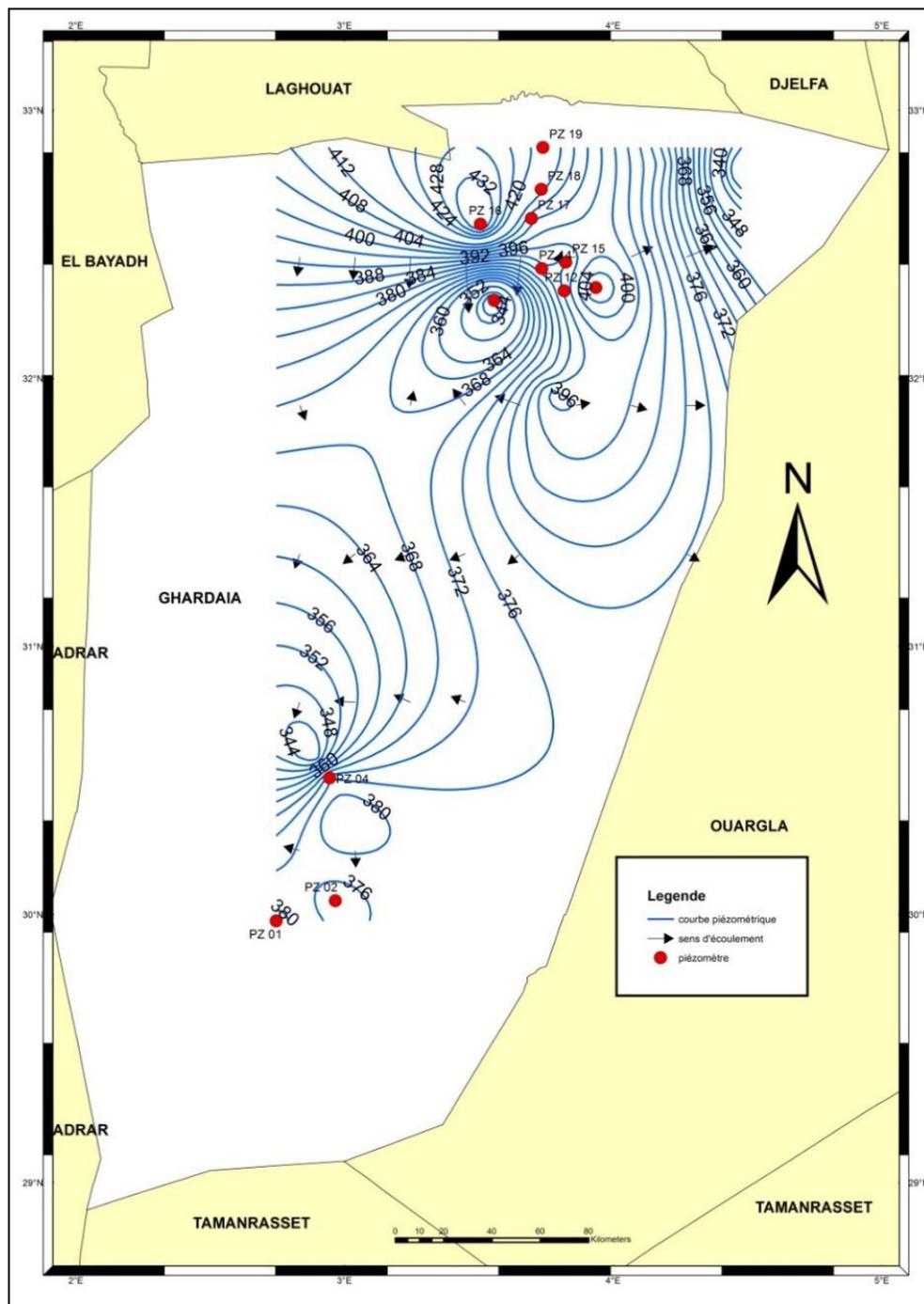
A Ghardaïa, en 1939, on réalisait un forage dans le continentale intercalaire (CI) où l'eau n'était pas jaillissante, et il fallait la pomper à environ 600 m. Par suite des sondages effectués à Zelfana, firent jaillir l'eau avec une pression au sol de 7 Kg/cm<sup>2</sup> et un débit considérable de 300 l/s (ANRH, 2005). La profondeur de la couche exploitée était d'environ 900 m (Dubost, 1991). Dans la région de Ghardaïa, cette profondeur augmente, en allant du Sud vers le Nord. Cette nappe couvre l'ensemble du territoire de la région ; l'artésianisme est rencontré à Guerrara, Zelfana, Mansoura, et Hassi Fhel . Tandis que dans la vallée du M'Zab, Berriane, Metlili, et Sebseb l'eau est pompée (Bensemaoune, 2008).



**Figure 11** : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO, 1972)

La carte piézométrique (fig. 12) montre que 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'alimentation en eau potable (AEP) et pour l'Irrigation. On remarque aussi que le niveau piézométrique a diminué

dans toute la région de Ghardaïa avec la création des nouveaux périmètres irrigués (ANRH, 2019).



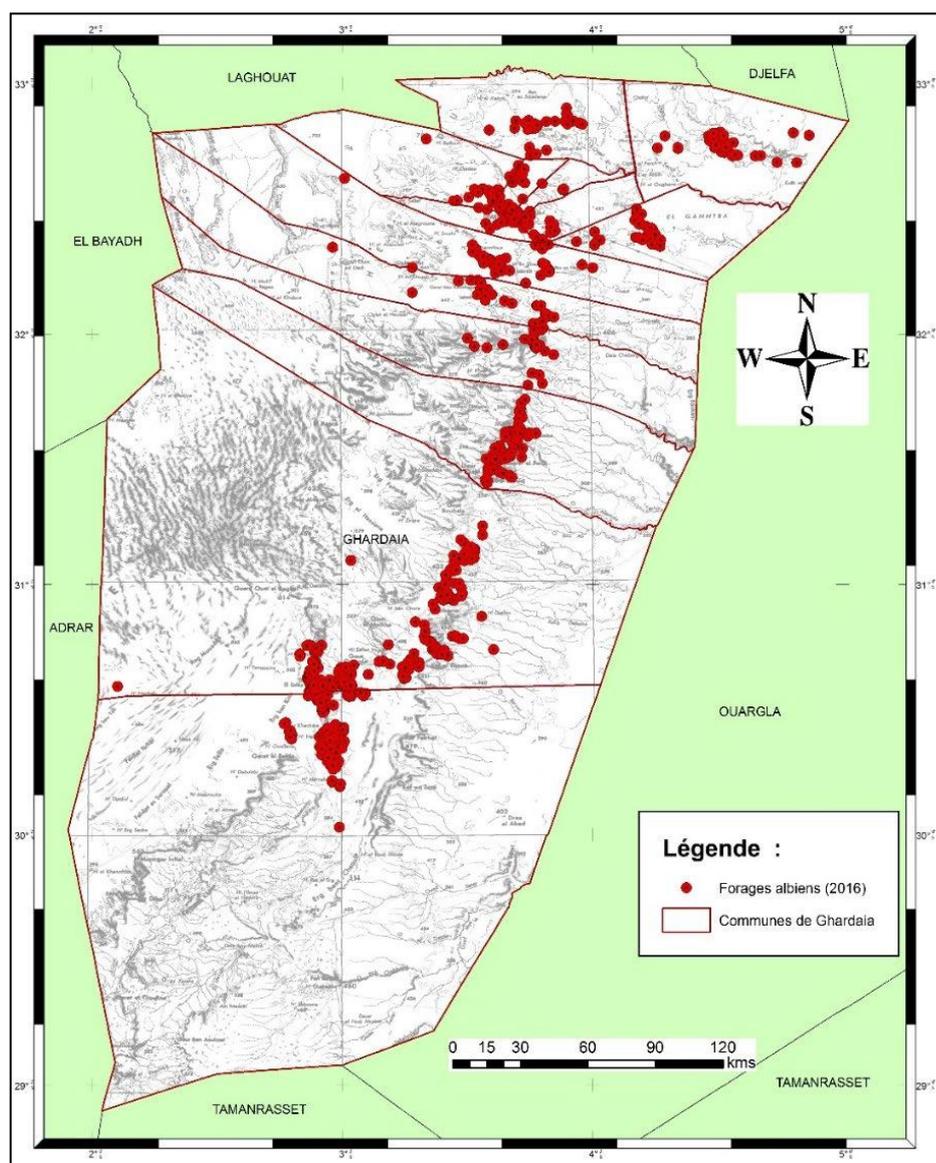
**Figure 12 :** Carte piézométrique du Continental Intercalaire dans la région de Ghardaïa (ANRH, 2019)

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.

L'inventaire à travers l'ensemble de la wilaya de Ghardaïa nous a permis de totaliser un nombre de 799 forages qui exploitent la nappe pour différents usages, que ce soit pour l'irrigation, l'industrie, ou l'AEP (tabl. 4 ; fig. 13) (ANRH, 2019).

**Tableau 04 :** Inventaire des forages albiens selon l'état de l'exploitation (ANRH, 2019)

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



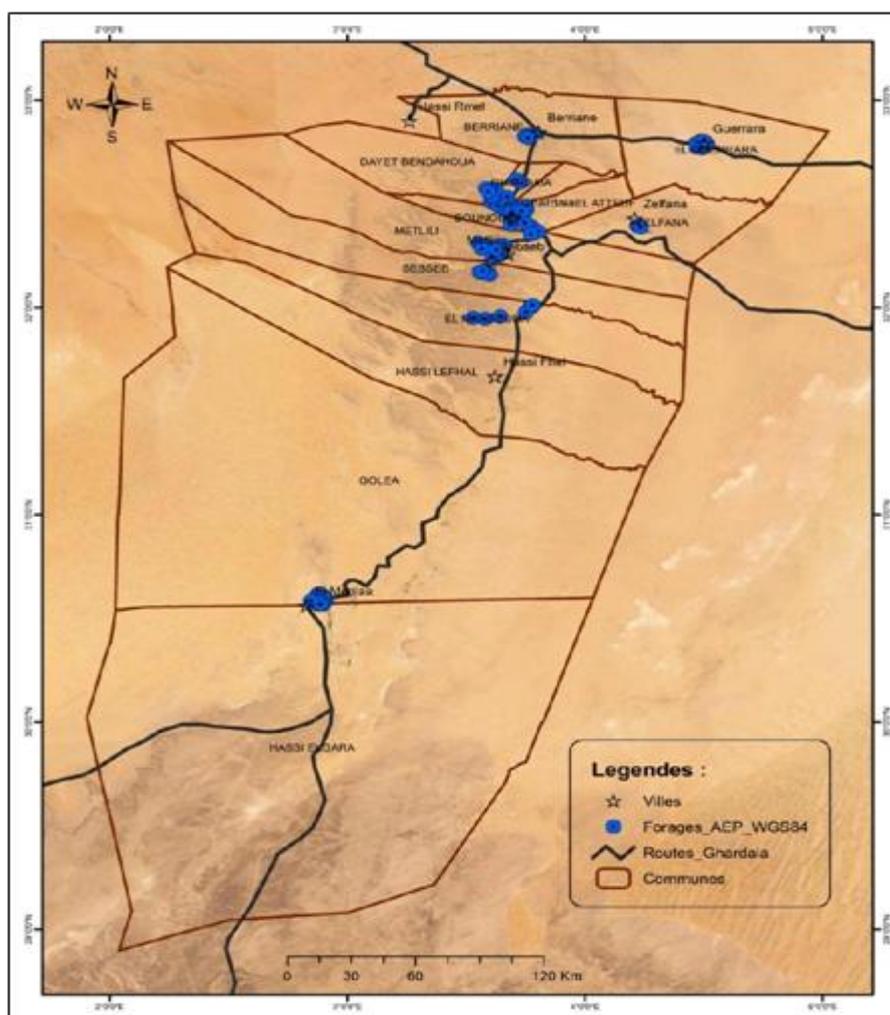
**Figure 13 :** Carte d'inventaire des forages d'eau dans la région de Ghardaïa (ANRH, 2019)

Actuellement, selon ADE de Ghardaïa (2020), le nombre de forages AEP (fig. 14) réalisés dans la wilaya de Ghardaïa est de 137 en 2020 (tabl. 5). Les plus grands débits sont

obtenus à Ghardaïa (Forage de Bouchene 33,3 /s), Meniaa (Forage Hadja Hlima ; Meniaa 36.1 l/s et Forage Ouled Zid 41.7 l/s) et Zelfana (Zelfana 41.7 l/s).

**Tableau 05 :** Forages d'alimentation en eau potable exploités dans la vallée de M'Zab (ADE, 2020)

Commune	Nombre de forage
Ghardaïa	30
Bounoura	15
Atteuf	10
Daia	8
Metlili	21
Sebseb	6
Mansoura	6
Mennia	17
Berriane	9
Guerrara	10
Zelfana	5
<b>Total</b>	<b>137</b>



**Figure 14 :** Carte de forages AEP de la région de Ghardaïa

## 2.8. Caractéristiques climatiques de la région de Ghardaïa

La région de Ghardaïa est caractérisée par un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud, grand écart thermique et une sécheresse permanente (Dubief, 1959 ; Dubief, 1963). Pour caractériser le climat de la région, les données climatiques de la station météorologique de Ghardaïa ont été utilisées (tabl. 6).

**Tableau 06** : Données climatiques de la ville de Ghardaïa de l'année 2009 à 2019  
(Tutiemp, 2020)

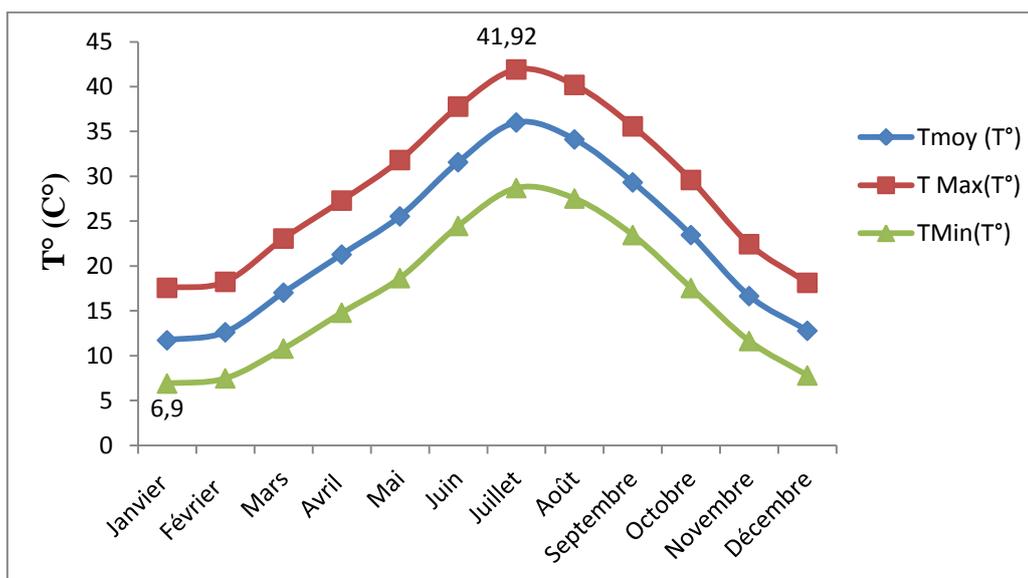
	T moy (T°)	T Max (T°)	T min (T°)	Hr(%)	P (mm)	V (Km/h)
Janvier	11,72	17,57	<b>6,9</b>	49,31	11,97	11,30
Février	12,62	18,24	7,48	41,96	0,425	13,86
Mars	17,03	23,07	10,8	39,96	12,36	14,74
Avril	21,28	27,3	14,8	33,36	5,81	15
Mai	25,54	31,82	18,66	29,14	0,94	<b>15,98</b>
Juin	31,58	37,78	24,48	25,66	3,46	14,42
Juillet	<b>36,01</b>	<b>41,92</b>	28,7	22,16	1,68	11,125
Août	34,12	40,2	27,53	25,12	0,58	10,90
Septembre	29,33	35,58	23,46	35,38	<b>12,40</b>	11,33
Octobre	23,46	29,6	17,55	38,925	10,16	8,54
Novembre	16,65	22,44	11,64	<b>45,9</b>	3,47	10,43
Décembre	12,78	18,13	7,8	51,7	2,90	10,73
Moyen	22,676	28,6375	16,649	36,547	66,184*	12,364

\*: cumul annuel

### 2.8.1. Température

La température est un élément fondamental du climat. Sa variation influe sur la l'évaporation des eaux, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influe sur le degré d'évapotranspiration, et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux (Gouaidia, 2008).

La température moyenne annuelle est de 22,627 °C, avec un maximum en juillet de 41,92 °C, et un minimum en janvier de 6,9 °C (fig. 15).

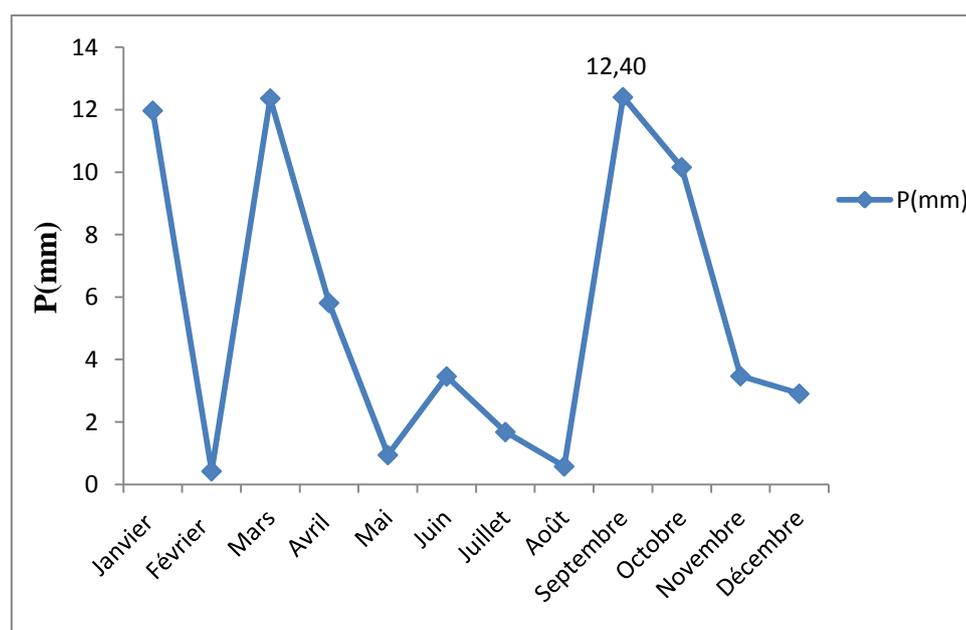


**Figure 15 :** Température moyenne mensuelle (maximas et minimas) pour la période 2009-2019

### 2.8.2. Précipitations

Les zones arides se caractérisent par des précipitations très réduites et un degré d'aridité d'autant plus élevé que les pluies y sont plus rares, inférieures à 100 mm/an (Dajoz, 1982). L'alimentation des eaux souterraines et de surface dans ces régions souffre de la faiblesse des précipitations, en particulier de leur part efficace génératrice d'écoulement (Quevauviller, 2010).

Les précipitations de la région de Ghardaïa sont également rares et irrégulières, d'un mois à un autre et à travers les années. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 66,184 mm, avec un maximum en septembre de 12,40 mm (fig. 16).



**Figure 16 :** Précipitations moyennes mensuelles pour la période 2009-2019

### 2.8.3. Vent

Il n'y a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique (Chenini, 2005). D'après Dubost (2002), les régions sahariennes ont la réputation d'être soumises à des vents forts et constants, en réalité c'est le manque d'obstacles au sol, l'absence de reliefs et la rareté de la végétation qui permettent aux vents d'exercer toute leur influence.

Le vent est maximum en mai de 15.983 km/h et un minimum en octobre de 8.54 km/h (fig. 17).

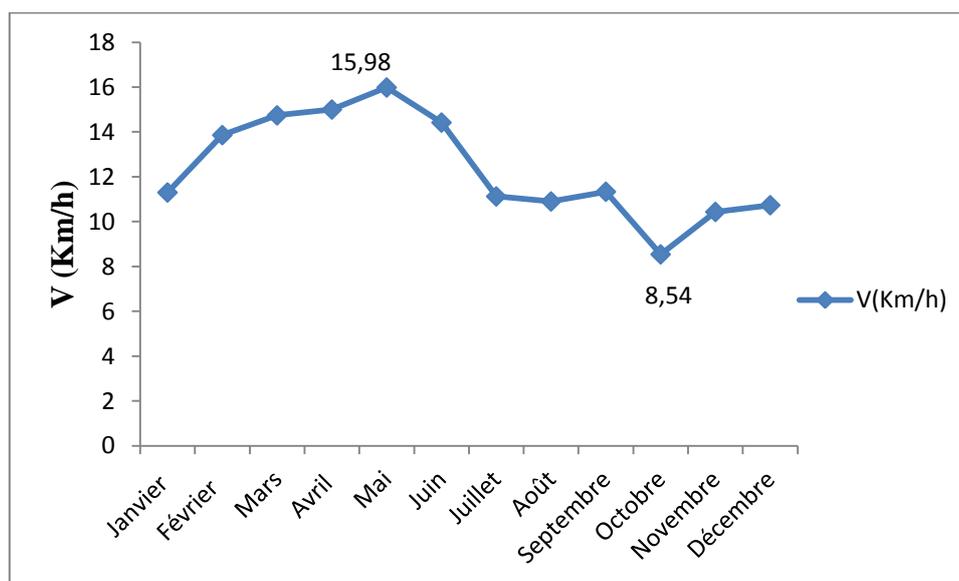


Figure 17 : Vent moyen mensuel pour la période 2009-2019

### 2.8.4. Humidité relative de l'air

A Ghardaïa, l'humidité relative de l'air (Hr) est faible. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle diminue jusqu'à 22.16 % au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds. Elle s'élève en hiver et atteint une moyenne maximale de 51,7 % au mois de décembre (fig. 18).

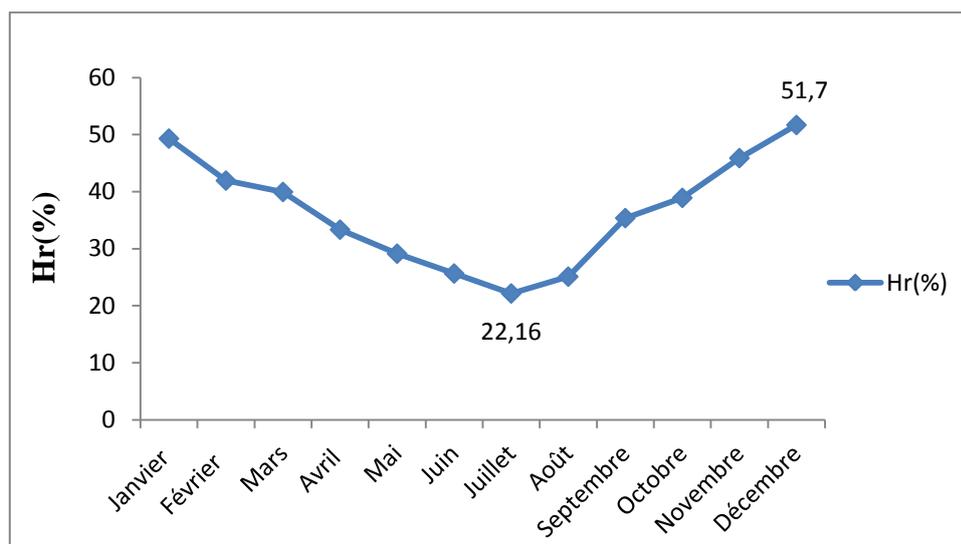


Figure 18: Humidités relatives moyennes mensuelles pour la période 2009-2019

### 2.8.5. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

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

De fait, de mois janvier jusqu'à décembre on remarque que y a une rareté des précipitations durant toute les saisons, où la période sèche couvre la quasi-totalité de l'année à Ghardaïa (fig. 19).

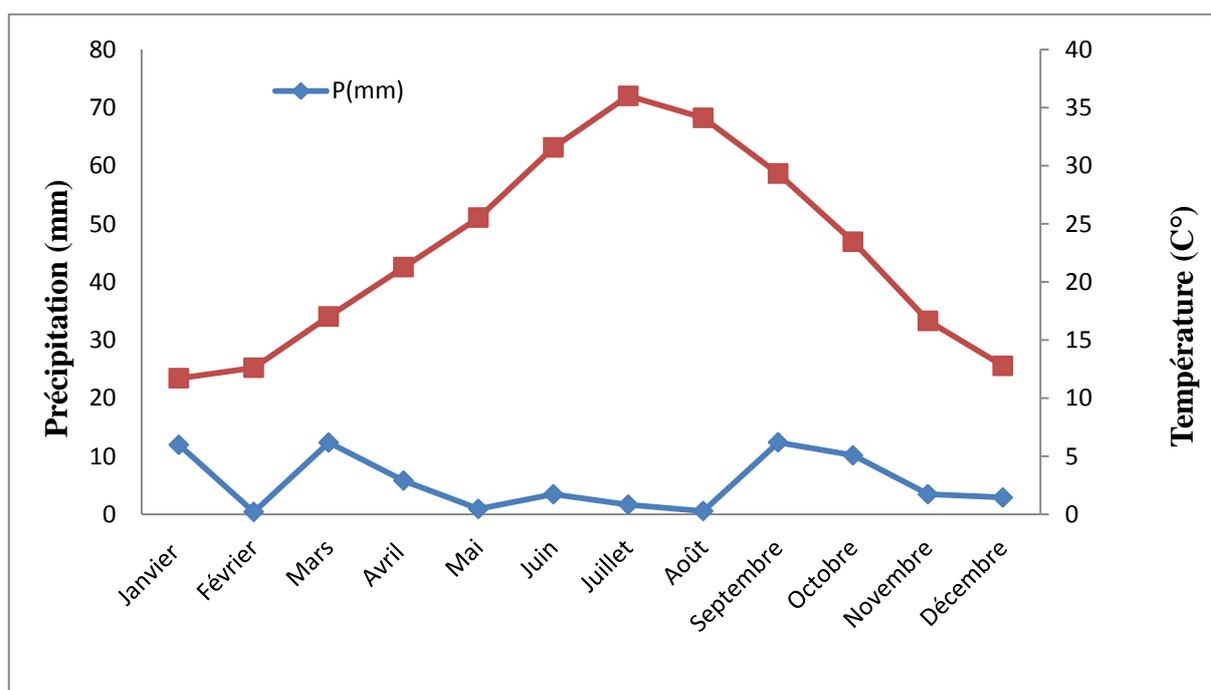


Figure 19 : Diagramme d'Ombrothermique de la région de Ghardaïa pour la période (2009-2019)

### 2.8.6. Climogramme d'EMBERGER

Pour classer le bioclimat, on a utilisé le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen (Claudin et *al.* 1979 in Slimani, 2006). Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (Q2) est déterminé par la combinaison des 3 principaux facteurs du climat. Il est donné par la formule suivante :

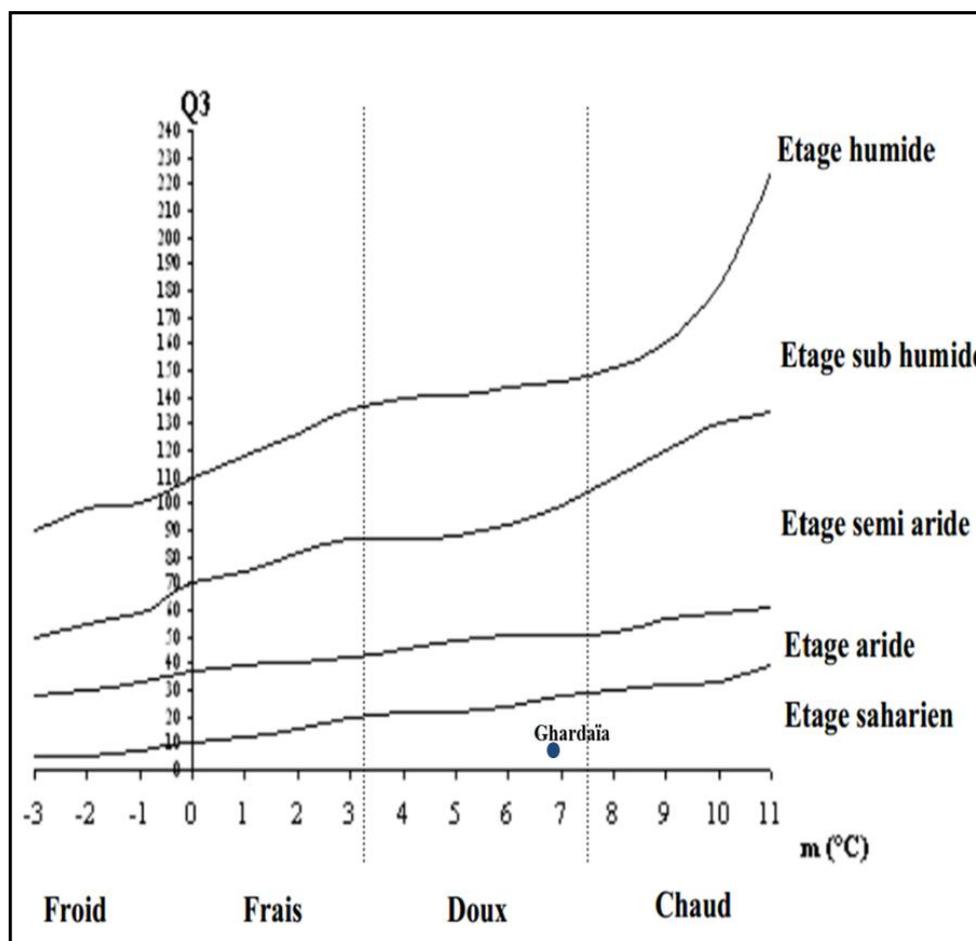
$$Q2 = 2000 P / M^2 - m^2$$

De fait, que M et m, les températures maximal et minimal exprimées en Kalven (K°), Stewart (1969 in Slimani, 2006) a montré que pour l'Algérie et le Maroc la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire :

$$Q3 = 3,43P / M - m$$

- P : Pluviosité moyenne annuelle en mm.
- M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en °C.
- m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en °C.

D'après la (fig. 20), Ghardaïa est caractérisée par un climat saharien à hiver doux et son quotient thermique (Q3) est de **6.355**.



**Figure 20 :** Climogramme pluviothermique d'Emberger de la région de Ghardaïa

# Chapitre IV :

## *Méthodes d'étude*

## Chapitre IV : Méthodes d'étude

### 1. Approche méthodologique

Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de l'Oued M'Zab, par des mesures physico-chimiques et bactériologiques des eaux, afin d'apprécier leur potabilité, et leur impact sur l'homme et l'environnement (fig. 21).

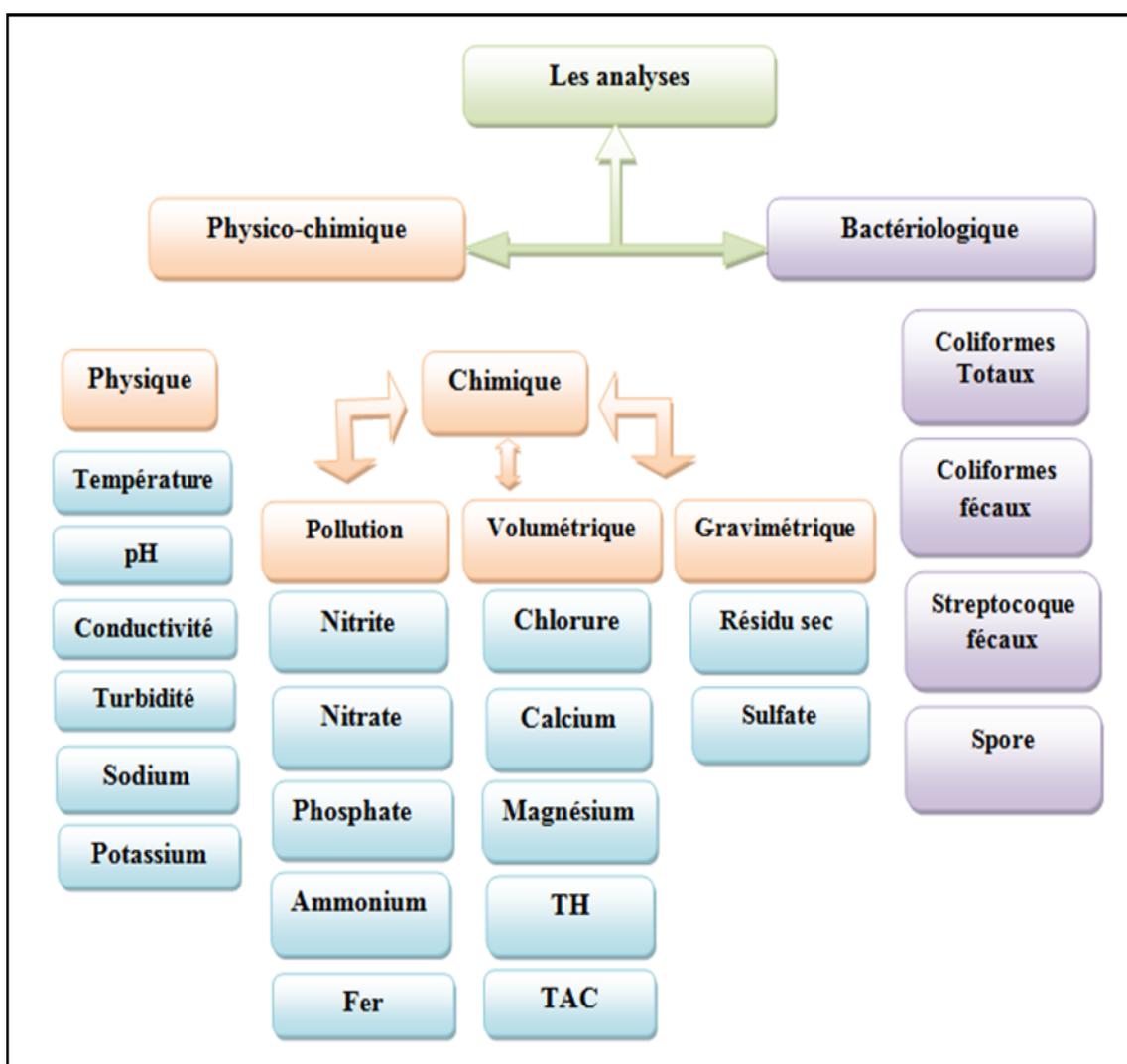
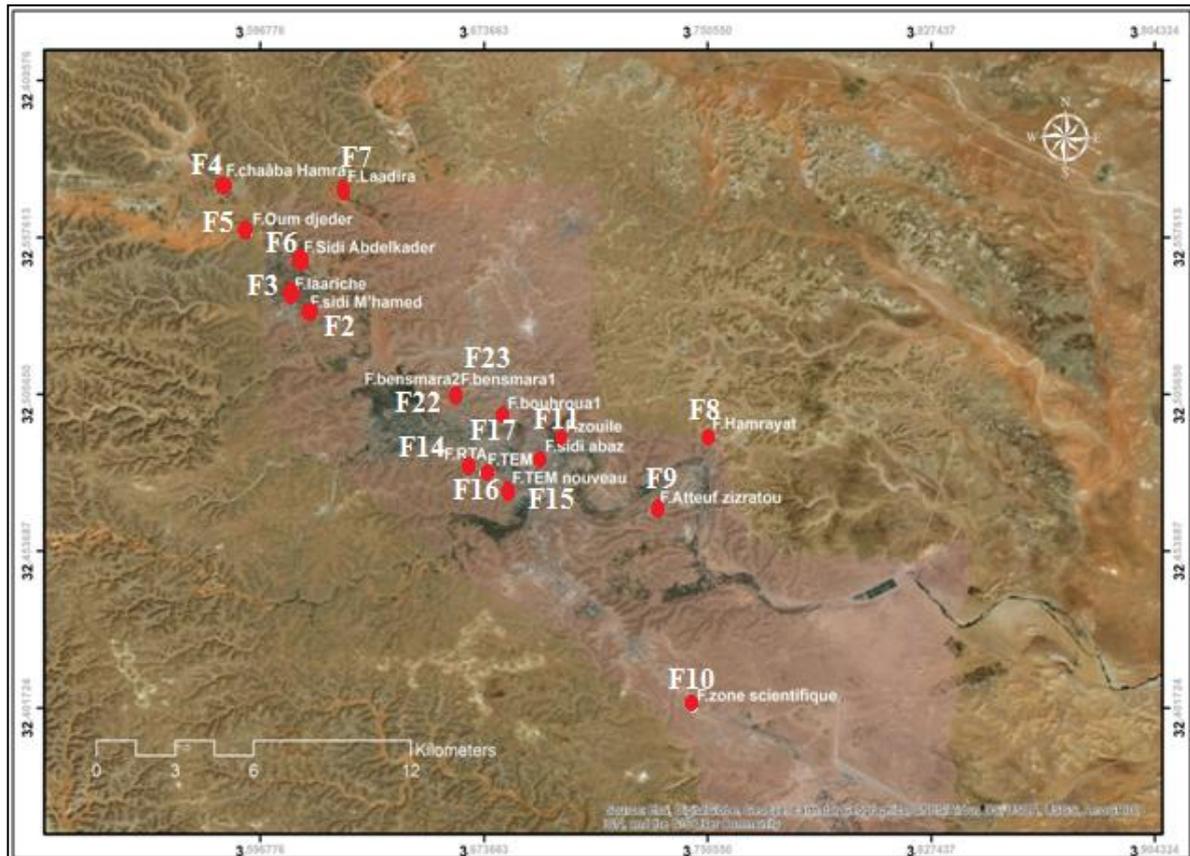


Figure 21 : Approche méthodologique

### 2. Échantillonnage de l'eau

L'étude de la qualité des eaux souterraines est effectuée sur vingt-trois forages situés dans l'Oued M'Zab, ils sont répartis de l'amont vers l'aval de l'oued, pendant la période

hivernale (janvier, février et au début de mars). La distribution des forages est représentée dans la carte suivante (fig. 22):



**Figure 22 :** Carte de localisation des forages utilisés

Le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate, à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Pour cela, il doit satisfaire aux conditions ci-dessous :

- ✓ Les échantillons doivent être homogènes et représentatifs.
- ✓ Les échantillons doivent être recueillis, conservés et expédiés dans des flacons stérilisés adéquats s'il s'agit d'analyse bactériologique.
- ✓ Le volume recueilli doit être suffisant pour permettre une analyse précise.

Tous les renseignements utiles sur les échantillons doivent être indiqués et le flacon doit être étiqueté correctement pour éviter les erreurs déclare (Rodier et *al.*, 2009).

Ces échantillons ont été prélevés dans des bouteilles enpolyéthylène préalablement désinfectés avec l'acide nitrique et rincés avec l'eau distillée (Rodier, 1996).

### 3. Transport des échantillons

Afin d'éviter que la teneur initiale en germes des eaux ne risque de subir des modifications dans le flacon, toutes les analyses sont effectuées le plus rapidement possible

«si la durée du transport dépasse 1 à 2 heures, et si la température extérieure est supérieure à 10°C, les prélèvements seront transportés dans des glacières dont la température doit être comprise entre 4 à 6°C». Même dans de telles conditions, l'analyse bactériologique doit débuter dans un délai maximal de 8 heures, après le recueil de l'échantillon. Si exceptionnellement l'analyse doit être reportée, il faut entreposer les échantillons à 4 °C (Rodier et *al.*, 2009).

## **4. Méthodes d'analyses**

Le protocole suivi dans ces analyses est celui de laboratoire de l'Algérienne des eaux de Ghardaïa (ADE, 2020), donc après l'échantillonnage d'eau, les analyses d'eau se commencent que ce soit les analyses physique, chimique (volumétrique et gravimétrique) et les analyses bactériologiques qui consistent la recherche des germes totaux, fécaux et des spores.

### **4.1. Analyses physiques**

#### **4.1.1. Température**

La mesure de la température a été effectuée en plongeant immédiatement le thermomètre dans le flacon d'eau à analyser pendant 5 minutes. La lecture doit se faire à travers les parois du flacon. Généralement, Les appareils de mesure de la conductivité ou du pH possèdent un thermomètre intégré (Rodier et *al.*, 2009).

#### **4.1.2. pH**

La détermination électrométrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution (Rodier et *al.*, 2009).

#### **4.1.3. Conductivité électrique**

La conductivité électrique d'une eau ( $\gamma$ ) est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier et *al.*, 2009).

#### 4.1.4. Turbidité

La mesure de la turbidité par méthode néphélométrique est déterminée à l'aide d'un néphélémètre. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident (CEAEQ, 2016).

#### 4.1.5. Dosage du Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> par spectrométrie d'émission de flamme

Le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme. Aspiration de l'échantillon dans une flamme de gaz, présentant une énergie thermique suffisante pour provoquer l'émission de radiations caractéristiques du Na<sup>+</sup> et du K<sup>+</sup> présents dans la solution. Mesure de l'intensité à une longueur d'onde de 589 nm pour le sodium et de 766,5 nm pour le potassium (ISO, 1993).

##### ✓ Mode opératoire :

Selon la teneur dans l'eau de l'élément dosé il sera nécessaire de procéder à une dilution. L'addition de « tampons de radiation » permet de tenir compte de la présence de substances étrangères susceptibles de provoquer des interférences.

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. Régler le zéro de l'appareil avec de l'eau déminéralisée. Se reporter à la courbe d'étalonnage.

Nébuliser l'eau à analyser dans une flamme air-acétylène légèrement oxydante en intercalant de l'eau ultra-pure entre chaque échantillon. Effectuer les lectures à la longueur d'onde de 766,5 nm pour le potassium (Rodier et *al.*, 2009).

## 4.2. Analyses chimiques

### 4.2.1. Paramètres de pollution

#### 4.2.1.1. Nitrate

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du para-nitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique (ADE, 2020).

##### ✓ Mode opératoire :

- Mettre en 1<sup>er</sup> bécher 10 ml eau distillée témoin
- Mettre dans autre bécher 5 ml eau échantillonné et 5 ml eau distillée
- Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.

- Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.
  - (ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.
- Après mettre les béchers dans la haute et ajoute 2 ml HCl concentré
- Reste 10 min
- Ajouter 15 ml eau distillée
- Ajouter 15 ml de réactif de tartrate double de sodium et de potassium (Na et K)
- Une couleur jaune apparaît
- Verser les solutions des béchers dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotomètre U-V
- puis passer au spectre au 415 nm.
- Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm (ADE, 2020).

#### 4.2.1.2. Nitrite

La di-azotation de l' amino-4-benzènesulfonamide par les nitrites en milieu Acide et sa copulation avec le dichlorure de *N*-(naphtyle-1) diamino-1,2 éthane donne un complexe coloré pourpre susceptible d'un dosage spectrométrique (Rodier et *al.*, 2009)

##### ✓ Mode opératoire :

- Mettre dans une fiole 50 ml eau distillée témoin.
- Dans les autres fioles 50 ml eau à analyser.
- Ajouter 1 ml réactif mixte (dosage de nitrite  $\text{NO}_2^-$ ).
- Fermer les fioles et agiter (Reste 20 min).
- L'apparition de la coloration rose indique la présence des  $\text{NO}_2^-$ .
- Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotomètre
- Effectuer la lecture à 543 nm.
- Le résultat est donné directement en mg/l (ADE, 2020).

#### 4.2.1.3. Phosphate

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrométrique (Rodier *et al.*, 2009).

✓ **Mode opératoire:**

- Dans des fioles de 50 ml mettre 40 ml eau distillée témoin
- Dans les autres fioles 40 ml eau à analyser
- Ajouter 2 ml d'acide ascorbique
- Ajouter 2 ml molybdate
- Compléter le reste avec de l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- Fermer les fioles et mélanger (Attendre 20mn le développement de la couleur bleue).
- Une couleur bleu apparaît preuve de la présence de phosphore
- Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotomètre UV.
- Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880 nm et le résultat est donné directement en mg/l sur le spectre.

Pour l'ortho phosphate peut être obtenu par la relation suivante (ADE, 2020):

$$C_{O-PO_4} = C_p \times 3.066$$

#### 4.2.1.4. Ammonium

Mesurage spectrométrique du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium. Les ions hypochlorite sont générés *in situ* par hydrolyse alcaline du sel de sodium du dichloroisocyanurate de sodium (ADE, 2020).

✓ **Mode opératoire :**

- Dans des fioles de 50 ml mettre 40 ml l'eau à analyser
- Ajouter 4 ml réactif coloré
- Ajouter 4 ml solution dichloroisocyanurate de sodium
- Compléter le reste avec de l'eau distillée jusqu'à 50 ml
- Rester 1h et l'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de :  $NH_4^+$
- Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotomètre U-V

- Expression des résultats : Effectuer la lecture à 655 nm (ADE, 2020).

#### 4.2.1.5. Fer

Addition d'une solution de phénanthroline-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- phénanthroline-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 (ADE, 2020).

##### ✓ Mode opératoire :

- Dans une fiole de 100 ml mettre 50 ml l'eau à analyser
- Par pipette graduée ajouter les réactifs
  - 1- 0.5 ml  $H_2SO_4$
  - 2- Nettoyer la pipette par l'eau distillée, et ajouter 1 ml de chlorhydrate d'hydroxylamine
  - 3- Ajoute 2 ml tampon acétate
  - 4- Ajouter 2 ml phénanthroline
- Fermer la fiole et mélanger puis mettre la solution 15 min dans l'obscurité
- Après Verser la solution de fiole dans une cuvette de 10 ml et mettre la dans l'appareil de spectrophotomètre et lire le résultat (ADE, 2020).

#### 4.2.2. Paramètres volumétriques

##### 4.2.2.1. Chlorures

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 (ADE, 2020).

##### ✓ Mode opératoire :

- Dans flacon erlenmeyer de 200 ml mettre 100 ml de l'eau à analyser
- Ajouter 3 gouttes de chromate de potassium  $K_2CrO_4$  (coloration jaunâtre).
- Titrer la solution avec du nitrate d'argent  $AgNO_3$  (0.02 mol/l) jusqu'à coloration brun rougeâtre. qui est le point de fin de titrage;
- Effectuer un essai en blanc.
- Noter le volume d' $AgNO_3$  de la burette.

$$P_{Cl} = \frac{(V_s - V_b) \times C \times F}{V_a}$$

$P_{Cl}$ : est la concentration en milligramme par litre de chlorure.

$C$  : est la concentration réelle exprimée en moles d'AgNO<sub>3</sub> par litre, de la solution de nitrate d'argent (0.02 mol/l).

$F$  : Facteur de conversion (35453mg/mol).

$V_a$  : est le volume, en millilitres de l'échantillon por essai (maximum 100 ml; les dilution doivent être prise en compte).

$V_b$  : est le volume, en millilitres de solution de nitrates d'argent utilisée pour le titrage de du blanc.

$V_s$  : est le volume, en millilitres de solution de nitrates d'argent utilisée pour le titrage de du l'échantillon (ADE, 2020).

#### 4.2.2.2. Dureté totale

Les alcalinoterreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe du type Chélate par le sel di sodique l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) à pH 10. La Disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un Indicateur spécifique ; le noir ériochrome. En milieu convenablement tamponné pour Empêcher la précipitation du magnésium, la méthode permet de doser la somme des ions Calcium et magnésium (Rodier et *al.*, 2009).

##### ✓ Mode opératoire :

- Prendre 25 ml d'échantillon et le diluer avec 25 ml d'eau distillée dans flacon erlenmeyer de 100ml
- Ajouter 4 ml de solution tampon
- Ajouter une pince de Mordant noir puis titrier avec l'EDTA en remuant continuellement jusqu'à disparition de la couleur pourpre jaunâtre et l'apparition de la couleur bleue (fin du titrage)
- Noter le volume d'EDTA utilisé (ml) (ADE, 2020).

$$C_{TH} = 20 \times V_s \times F$$

$V_s$  : le volume de EDTA qui descendre

$F$  : dilution

#### 4.2.2.3. Calcium

Titration des ions calcium avec une solution aqueuse de l'EDTA à un pH compris entre 12 et 13. L'indicateur utilisé est le HSN, 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 (ADE, 2020).

✓ **Mode opératoire :**

- Dans erlenmeyer de 100 ml mettre 25 ml d'eau à analyser et 25 ml eau distillée
- Ajouter 2 ml Hydroxyde de sodium NaOH
- Ajouter une pince de HSN
- Ouvrir le robinet, et faire le titrage jusqu'à la couleur de solution est change
- à l'aide d'une burette graduée de 25 ml titrer la solution avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet) (ADE, 2020).

$$C_{Ca} = V_s \times F \times 8.016$$

$V_s$  : le volume d'EDTA de titrage

F : Facteur de dilution

#### 4.2.2.4. Magnésium

Le  $Mg^{2+}$  peut être estimé par la différence entre la dureté totale et le calcium (Rodier et al. 2009). Est exprimé par cette équation :

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] \Rightarrow [Mg^{2+}] = TH - [Ca^{2+}]$$

Avec  $[Mg^{2+}]$  en mg/l de  $CaCO_3$  (ADE, 2020).

#### 4.2.2.5. Alcalinité (TAC)

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaires pour neutraliser, aux niveaux de pH 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. la première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), La seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC) (ADE, 2020).

✓ **Mode opératoire :**

- Dans flacon erlenmeyer de 200 ml mettre 50 ml l'eau à analyser et 50 ml l'eau distillée
- Ajouter 3 gouttes de vert de promocisol
- Utiliser une burette graduée de 50 ml HCl pour titrage

- Ouvrir le robinet, et faire le titrage jusqu'à la couleur de solution est change (jaune claire)
- Noter le volume de HCl qui descendre (ADE, 2020).
- ✓ **Mesures et calcul du résultat :**

Le titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC), exprimés en mg/l par litre sont donnés respectivement par les expressions (ADE, 2020) :

- $TA = (V1 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des carbonates} / V$
- $TAC = (V2 \times N \times 1000) \times \text{masse molaire des bicarbonates} / V$

Masse molaire des bicarbonates = 61mg

Masse molaire des carbonates = 60 mg.

### 4.2.3. Paramètres gravimétriques

#### 4.2.3.1. Sulfate

Les ions  $SO_4^{4-}$  sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravimétriquement (Rodier et *al.*, 2009).

- ✓ **Mode opératoire :**
  - Mettre 100 ml d'eau à analyser dans un bicher ajouter 5 ml de hcl de 10 %
  - Laisser la solution sur plaque chauffons jusqu'à ébullition
  - Dans la haute ajouter 20 ml de  $baCl_0$  (goûte à goûte) jusqu'à la couleur devient
  - Ajouter  $agno_3$  jusqu'à la solution devient transparente
  - Verser la solution dans un filtre sondrie puis brûler le filtre et le peser (ADE, 2020).

### 4.3. Analyses bactériologiques

#### 4.3.1. Méthode de filtration sur membrane

La méthode la plus pratique en laboratoire est la méthode de filtration sur membrane, et la méthode de travail est la suivante (IPA, 2006):

- Tout d'abord, il faudrait stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable ainsi que la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Les refroidir tout de suite après, avec l'eau à analyser si on en dispose en quantité suffisante ou bien avec de l'eau distillée stérile.

- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité nominale de 0,45  $\mu\text{m}$  ou 0.22 $\mu\text{m}$  (les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux ou les spores respectivement) entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dispositif avec la pince correspondante.
- Déposer ensuite aseptiquement 100 ml, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir, enlever la membrane à l'aide de pinces stériles puis la placer dans une boîte de pétri préparé à l'avance avec un milieu de culture sélectif.

#### **4.3.2. Recherche et dénombrement des germes revivifiables**

La recherche et le dénombrement des germes revivifiables se réalisent à deux températures différentes afin de cibler à la fois les microorganismes à tendance psychrophiles soit à 22°C et ceux mésophiles soit 37°C (Rejsek, 2002).

##### **✓ Principe**

Il s'agit d'une technique de numération des microorganismes après incorporation de volumes déterminés d'échantillon ou de ces dilution dans un milieu gélosé (Rejsek, 2002).

##### **4.3.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes**

La colimétrie consiste à déceler et à dénombrer les germes coliformes dont les coliformes fécaux, "notamment d'origine fécale". Elle se réalise en deux étapes (Rejsek, 2002):

- La recherche présomptive des coliformes.
- La recherche confirmative des coliformes et coliformes fécaux

##### **✓ Mode opératoire :**

- Après la filtration transférer immédiatement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, sur la surface d'une plaque de gélose TTC
- Incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 48 heures et servira à la recherche des bactéries coliformes, suivie de l'identification biochimique des *Escherichia coli*.
- Après l'incubation, 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).
- Repiquer de façon aléatoire 5 à 10 colonies à des fins de confirmation basée sur le test à l'oxydase d'une part et la production d'indole d'autre part (IPA, 2006).

✓ **Test à l'oxydase :**

- Effectuer un repiquage sur gélose TSA à la caséine de 5 colonies, à incuber à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 24 heures, puis effectuer le test suivante :
- Imbiber 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 couleur violet foncé. Par conséquent, absence de couleur qui confirmer les coliformes (IPA, 2006).

✓ **Test à l'indole :**

- Transférer chaque colonie caractéristique séparément dans un tube contenant 3 ml de bouillon au tryptophane.
- Triturer la colonie dans le milieu puis incuber ce dernier à  $42 \pm 4^\circ\text{C}$  pendant 24 heures puis rechercher la production anneau rouge qui exprime le cycle indole en ajoutant 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs.
- La présence d'une coloration rouge à la surface du bouillon traduit la production de cycle indole à partir du tryptophane présent dans le milieu (IPA, 2006).

✓ **Résultat final :**

- Est considérée comme bactérie coliforme, toute colonie caractéristique (jaune), dépourvue de l'enzyme oxydase et non productrice d'indole.
- Est considéré comme bactérie *Escherichia coli*, toute colonie caractéristique (rouge), dépourvue de l'enzyme oxydase, mais productrice d'indole à  $44^\circ\text{C}$ .
- Calculer ensuite la valeur **a** du nombre de bactéries coliformes lactose positives à part celle des *Escherichia coli* à part ; le résultat final sera exprimé selon l'équation suivante (IPA, 2006) :

$$a = (b \div A) \times C$$

b : nombre de colonies caractéristiques présumées dans la boîte.

A : nombre de colonies repiquées.

C : nombre total de colonies trouvées dans la boîte.

#### 4.3.2.2. Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux par filtration sur membrane se fait en deux tests : le test présomptif qui montre une coloration noire présente dans le milieu BEA et le test confirmatif dépend de l'absence de production de gaz en présence d'eau oxygénée (IPA, 2006).

✓ **Mode opératoire :**

La recherche et dénombrement des streptocoques fécaux par filtration sur membrane se déroulent comme suit :

- Après le processus de filtration, placé immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince à bouts arrondis stérile, à la surface d'une plaque de gélose SLANETZ préalablement préparée.
- Cette dernière sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 48 heures. Lecture et interprétation
- Après la période d'incubation spécifiée, Streptocoques 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  $44^\circ\text{C}$ . Cette dernière sera incubée à son tour à  $44^\circ\text{C}$  pendant 2 heures.
- Les colonies caractéristiques prennent alors une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu.
- Mettre 2 à 3 gouttes de l'eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}_2$  pour tester la libération des gaz. Par conséquent, aucune bulle d'air ne doit être trouvée pour confirmer la présence de streptocoque (IPA, 2006).

**4.3.2.3. Recherche et dénombrement des spores de bactéries anaérobies sulfito-réducteurs (ASR)**

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram+, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose viande foie (VF) en donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de  $\text{Fe}^{2+}$  donne  $\text{FeS}$  (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne (Rejsek, 2002).

✓ **Mode opératoire :**

Après filtration, nous plaçons la membrane  $0,22\mu\text{m}$  obtenue de façon à ce que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant les bulles d'air sous le filtre.

- Verser par la suite environ 2/3 de boîte pétrie gélose VF, laisse refroidie à température ambiante puis incube sur l'étuve  $36 \pm 2^\circ\text{C}$  pendant 48 heures.

- Après solidification sur paillasse, cette boîte sera incubée couvercle en bas à  $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$  pendant 24 heures puis 48 heures (IPA, 2006).

✓ **Lecture et interprétation :**

- Compter les colonies caractéristiques noires aussi bien après la première période d'incubation soit après 16 heures et  $20 \pm 4$  heures qu'après la seconde période d'incubation soit après  $44 \pm 4$  heures (IPA, 2006).

Remarque : si on utilise de la gélose VF, il faudrait au préalable chauffer l'eau à une température de  $75^{\circ}\text{C}$  pendant 15 minutes puis refroidir avec l'eau de robinet dans le but d'éliminer les formes végétatives (IPA, 2006).

# Chapitre V :

## *Résultats et discussions*

## Chapitre V : Résultats et discussions

Les résultats physico-chimiques, s'agitent des paramètres facilement mesurables et utiles pour voir l'évolution des éléments chimiques les plus dominants dans les eaux de forages de la région d'étude, leurs concentrations et leurs origines. Les résultats physico-chimiques étudiés sont les suivants :

### 1. Résultats des analyses physico-chimiques

#### 1.1. Température

D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques (Dib, 2009) et par l'origine dont elles proviennent (superficielles ou profondes) (Rodier et *al.*, 2005).

Les résultats obtenus (fig. 23) montrent que le f8, f10, f11 et f12 dépassent le seuil spécifié (25°C), et le f1, f2 et f3 ont enregistré des valeurs minimums inférieure 15 °C et le reste des forages ont enregistré des valeurs moyennes entre 15 à 25 °C.

Donc la majorité des forages ont enregistré une valeur  $\leq 25$  °C et ils sont conformes à la norme Algérienne recommandée alors que sont des eaux à bonne qualité concernant le degré de température.

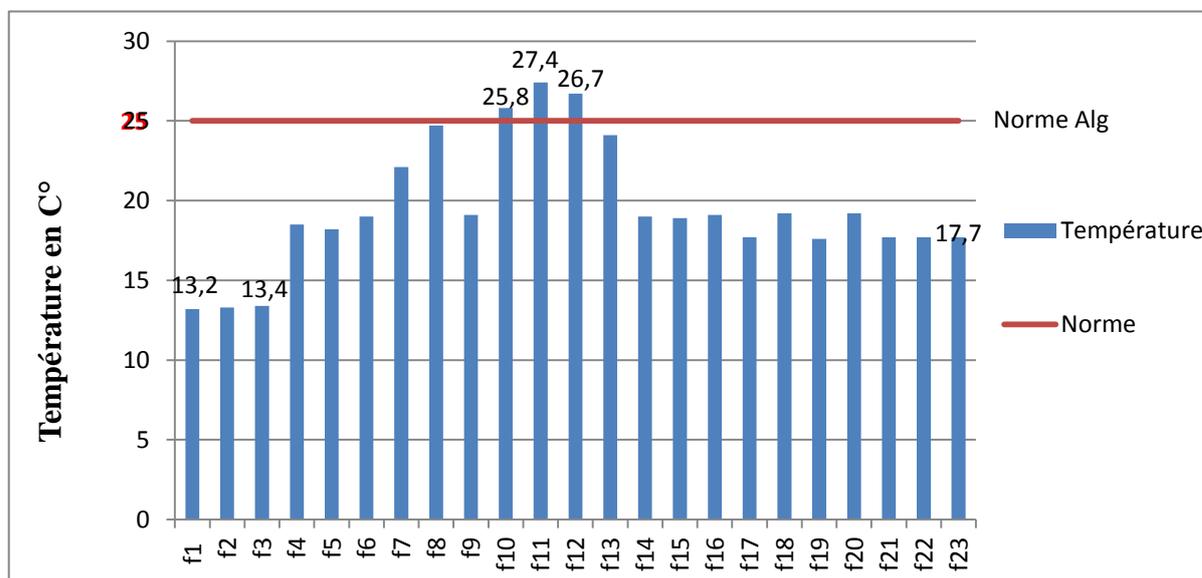


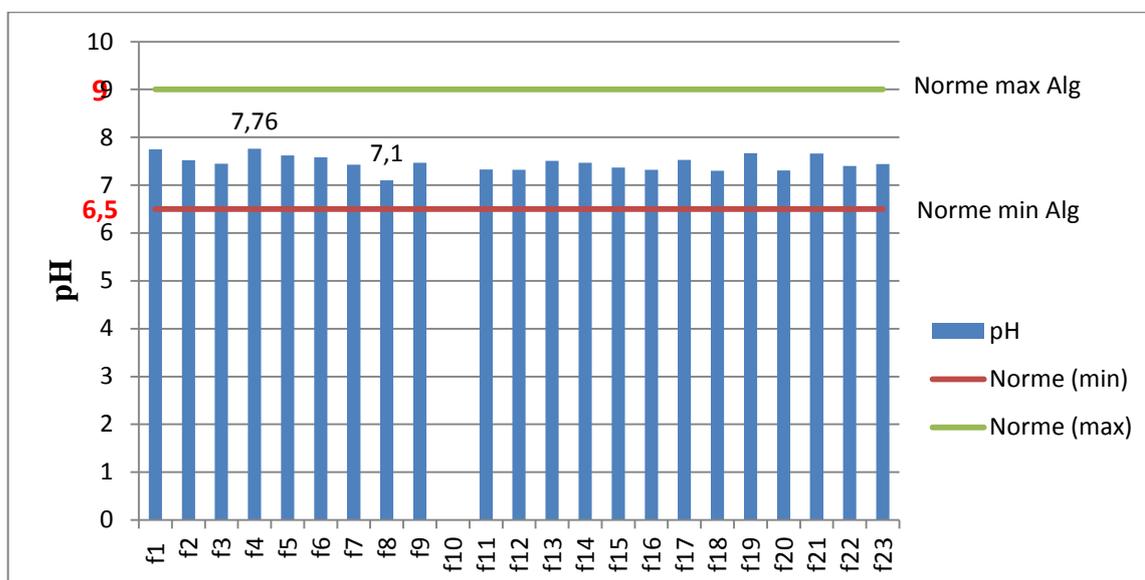
Figure 23 : Variation de température (C°) des eaux des forages

#### 1.2. Potentiel d'hydrogène

Le pH d'une eau naturelle dépend de l'origine de celle-ci et de la nature des terrains traversés (Saadali, 2007 ; Gouaidia, 2008). Les législations Algériennes et européennes précisent comme niveau guide du pH est de 6,5 à 9 (JORA, 2011).

On observe que les valeurs du pH (fig. 24) sont homogènes dans tous les forages donnés; elles se situent entre 7 et 8. Donc ces valeurs des eaux des forages sont compatibles avec les normes Algérienne ( $>6,5$  et  $<9$ ).

On remarque que les valeurs enregistrées sont des valeurs basiques et ça peut être causé par les terrains calcaires de ces forages.



**Figure 24 :** Variation de pH des eaux des forages

Les valeurs de pH obtenus lors de notre étude sont proches de celles obtenues par Begra et Telli (2018) pour la même région de l'Oued M'Zab avec ( $6,96 \leq \text{pH} \leq 7,73$ ). Elles sont inférieures de celles obtenues à Oued Metlili par Dahou et Belmokhtar (2018) ( $7,73 \leq \text{pH} \leq 8$ ) et par Guerbouz (2006) ( $7,52 \leq \text{pH} \leq 8,2$ ). A partir de là, on dit que la vallée du Metlili est caractérisée par un pH supérieure que la vallée du M'Zab.

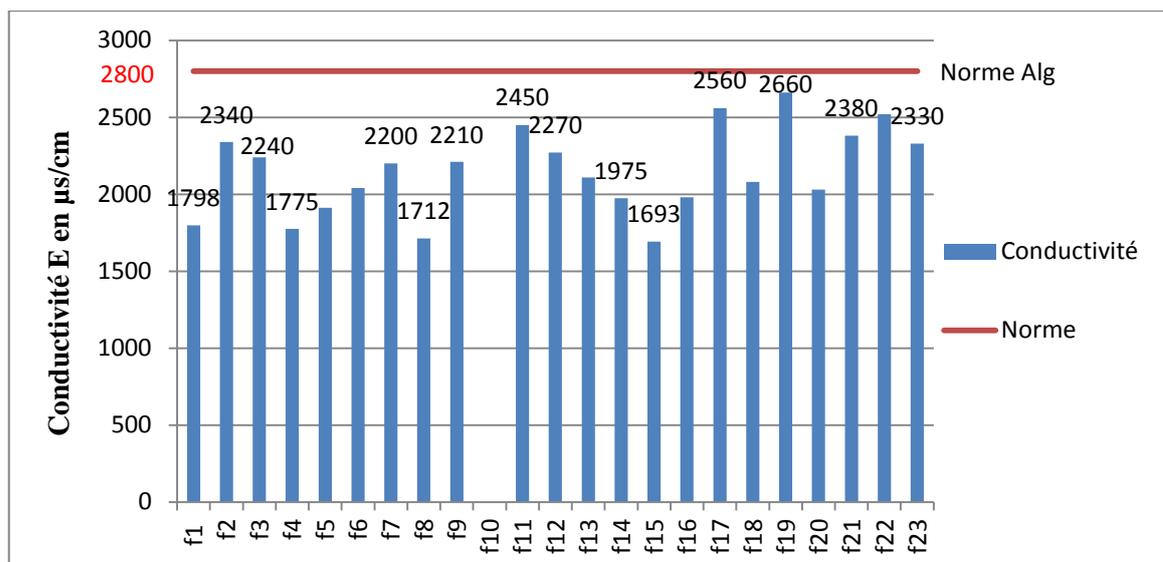
### 1.3. Conductivité électrique

Rodier et *al.*, (2009), signalent que la variation de conductivité est induite par la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Cette mobilité dépend de la nature des ions dissous et de leur concentration, tels que les ions de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), de sodium ( $\text{Na}^+$ ), de chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), des bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )...etc. Généralement, la conductivité électrique augmente avec la concentration des ions en solution et la température (Dib, 2009)

Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la conductivité électrique (fig. 25), montrant que les forage f2, f3, f6, f7, f9, f11, f12, f13, f16, f17, f18, f19, f20, f21, f21 et f23 ont une conductivité élevé entre 2000 à 2800  $\mu\text{S}/\text{sm}$ . Tandis que les

forages f1, f4, f5, f8, f10, f14 et f15 ont une conductivité inférieure de 2000  $\mu\text{S}/\text{sm}$ . Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , excepté l'eau du f17 et f19 qui affiche une valeur trop élevée et proche beaucoup à ce seuil.

Comme conséquence, Les forages qu'a dépassés la norme peuvent être à cause de la teneur élevé des sels et substances minérales résultant par l'altération ou l'érosion de la matière géologique



**Figure 25 :** Variation de conductivité électrique (CE) des eaux des forages

Les valeurs de CE obtenus par Begra et Telli (2018) ( $1549 \mu\text{S}/\text{sm} \leq \text{CE} \leq 2460 \mu\text{S}/\text{sm}$ ) sont inférieures de notre résultats, donc on remarque que la salinité de la nappe albiennne d'Oued M'Zab est augmentée avec le temps, Quant aux CE des eaux de puits sont très élevées par rapport aux notre résultats de CE des eaux des forages. Donc on peut dire que la nappe phréatique de l'Oued M'Zab est plus saline que la nappe albiennne, On peut expliquer l'augmentation de CE des eaux de puits par l'évaporation des eaux et l'accumulation des sels. D'après Dahou et Belmokhtar (2018), les valeurs de C.E des eaux des forages d'Oued Metlili sont inférieures de nos résultats avec ( $1193 \mu\text{S}/\text{sm} \leq \text{CE} \leq 2040 \mu\text{S}/\text{sm}$ ). Cela montre que les eaux des forages de l'Oued Metlili sont moins saline que les eaux des forages de l'Oued M'Zab.

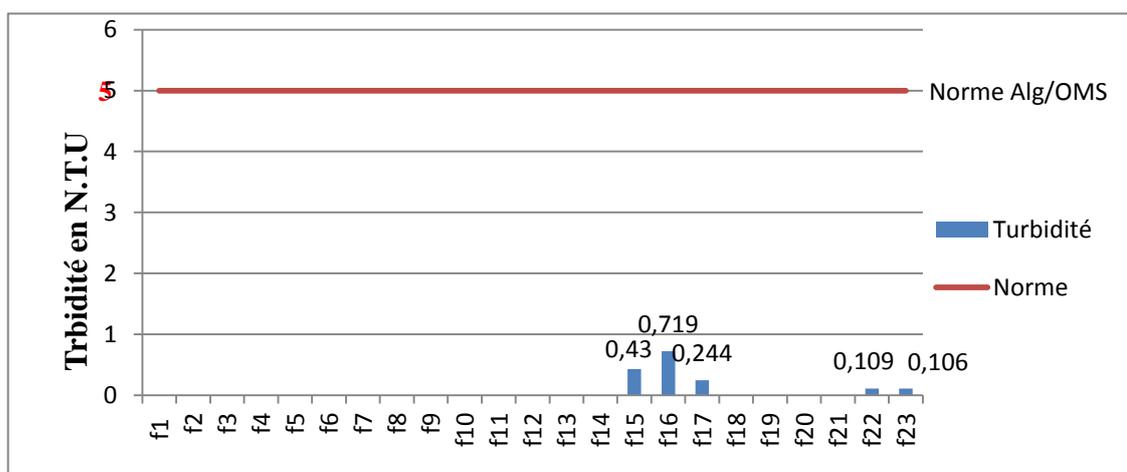
#### 1.4. Turbidité

La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales (sable, argiles ou limons), des matières organiques (matières organiques morts ou des végétaux en décomposition, du

plancton suspendu ) ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau (Rodier et *al.*, 2005 ; Hade, 2007). Les normes Algériennes (JORA, 2011), recommandent comme valeur limite de turbidité : 5 NTU.

Les résultats présentés (fig. 26), montrent que la turbidité 0 NTU est enregistrée à la majorité des forages excepté les forages f15, f16 f17, f22 et f23 ont une turbidité est inférieur de 1 NTU.

Ces résultats ils sont conformes à la norme Algérienne donc la majorité des eaux de ces forages ne continent pas des matières en suspension ou des substances en solution qui altèrent sa qualité physique.



**Figure 26 :** Variation de turbidité des eaux des forages

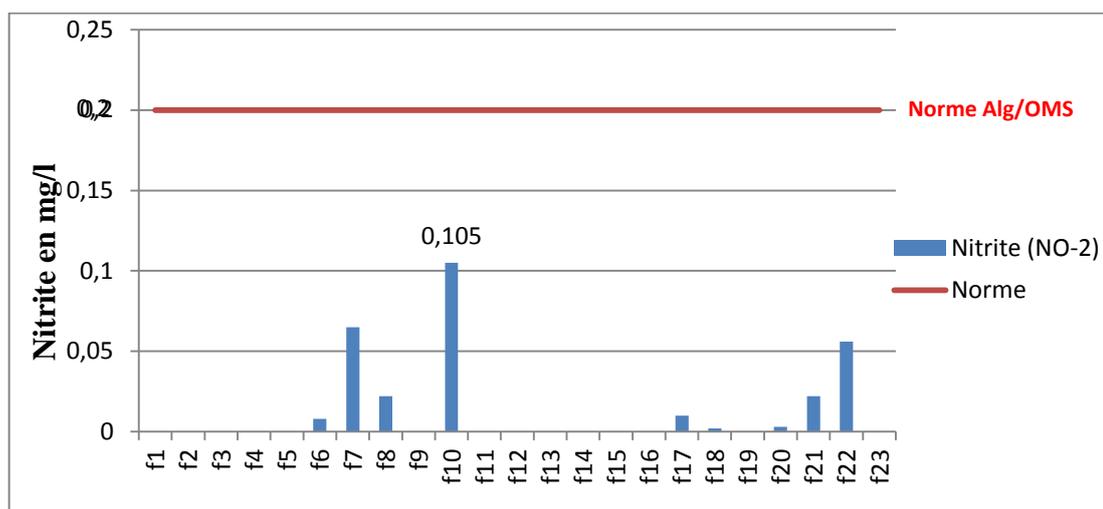
Les résultats de turbidité obtenus par nous sont inférieurs par rapport aux résultats obtenus par Dahou, Belmokhtar (2018) et Guerbouz (2018) dans l'Oued Metlili, elles sont enregistrés respectivement ( $0,27 \text{ NTU} \leq \text{Turbidité} \leq 0,93 \text{ NTU}$ ) et ( $0,2 \text{ NTU} \leq \text{Turbidité} \leq 0,85 \text{ NTU}$ ). Donc on peut dire que les eaux de la région de l'Oued M' Zab sont clairs par rapport les eaux de la région de l'Oued Metlili.

## 1.5. Paramètres de pollution

### 1.5.1. Nitrite

D'après les études de (Dégbey et *al.*, 2010 ; Bricha et *al.*, 2007 ; Lagnika et *al.*, 2014), La pollution nitrique des eaux souterraines serait due au déchets des animaux, au fumier ou aux engrais chimiques utilisés dans la fertilisation des terres agricoles.

La figure (27) montre que les forages f6, f7, f8, f17, f18, f20, f21 et f 22 ont enregistrés des valeurs inferieur de la norme algérienne et la norme OMS (0.2 mg/l), tandis que les forages f14, f15 et f16 ont enregistrés la valeur (0 mg/l).



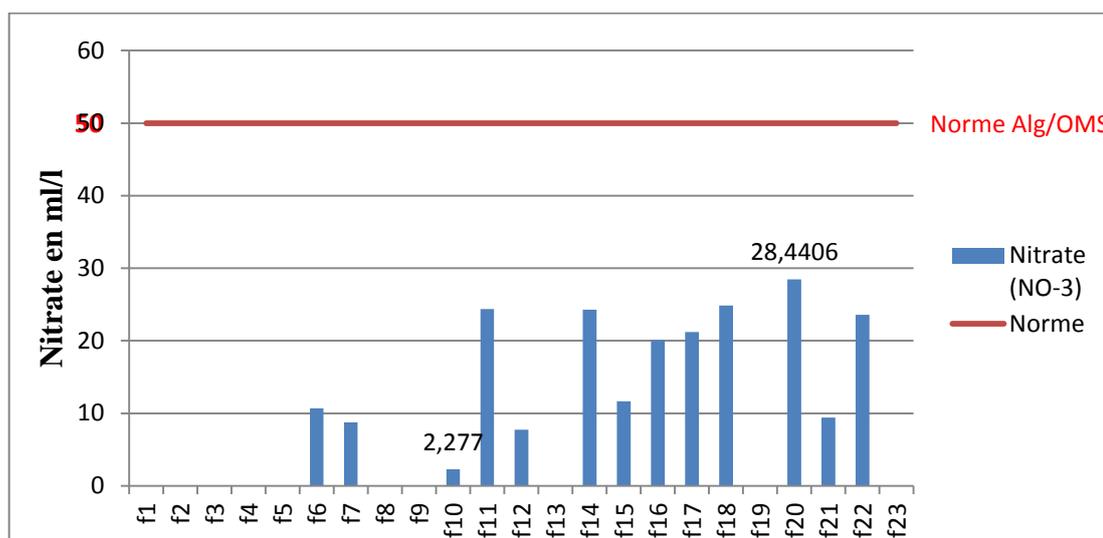
**Figure 27 :** Variation de Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) des eaux des forages

Concernant le nitrite nous sommes enregistrés des valeurs relativement proches aux résultats de Begra et Telli (2018) ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0,07 \text{ mg/l}$ ) sauf qu'un forage est dépassé la norme algérienne à 0,486 mg/l. Les valeurs enregistrées à Oued Metlili par Dahou et Belmokhtar (2018) sont inférieures de nos résultats ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_2^- \leq 0,074 \text{ mg/l}$ ).

### 1.5.2. Nitrate

L'apport de nitrates dans le sol, puis dans les eaux, est donc fortement lié à la quantité de matières organiques présente et aux conditions de milieu (Demdoun, 2010). L'absorption des nitrates dans l'eau provoque une diminution de la quantité d'oxygène transportée par le sang, et le fait de boire de l'eau dont la concentration de nitrates est supérieure à 10 mg/l (N-NO<sub>3</sub>) risque d'entraîner chez le bébé une maladie appelée la méthémoglobinémie. (Patrick et al. 1998)

Les valeurs enregistrées au niveau des forages f7, f10, f12 et f21 sont des valeurs inférieures de (10 mg/l) d'après la (fig. 28) et les autres forages f16, f11, f14, f15, f16, f17, f18, f20 et f22 ont enregistrés des valeurs inférieures de la norme algérienne et la norme OMS (50 mg/l).



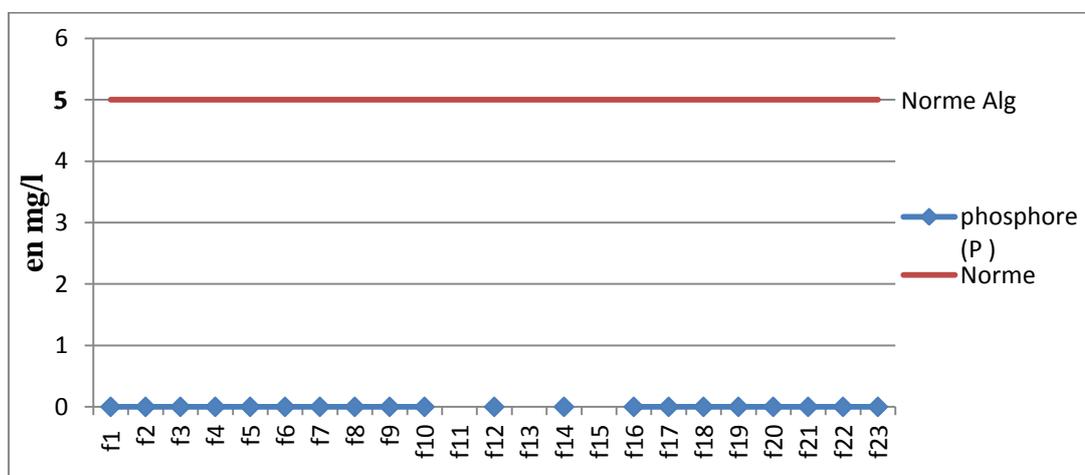
**Figure 28:** Variation de Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) des eaux des forages

Les valeurs de nitrate dans notre analyse sont inférieures par rapport aux résultats enregistrés par Begra et Telli (2018) avec ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 34,394 \text{ mg/l}$ ), et elles sont supérieures aux résultats de Dahou et Belmokhtar (2018) à Oued Metlili où elles ont enregistré ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{NO}_3^- \leq 20.754 \text{ mg/l}$ ).

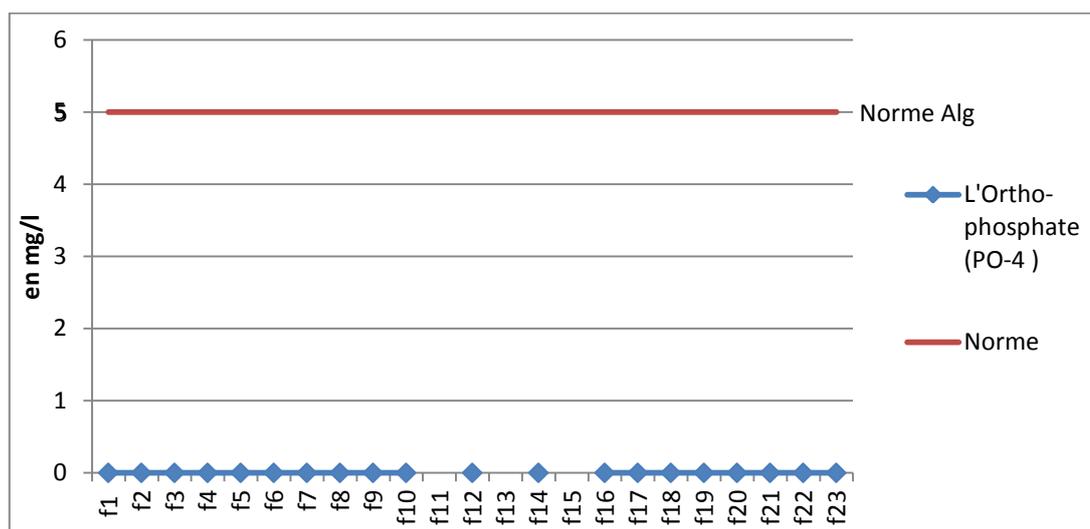
### 1.5.3. Orthophosphate

À travers les deux graphiques ci-dessous (fig. 2 et 30), nous avons remarqué l'absence de phosphore et de l'ortho-phosphates dans tous les forages, ils ont enregistré 0 mg/l, donc ces valeurs ne dépassent pas la norme Algérienne (05 mg/l).

En l'absence d'apport d'oxygène, les phosphates n'existent qu'à l'état de traces dans les eaux naturelles, leur introduction dans les eaux de surfaces (rivières, lacs) se fait par les eaux usées dont l'épuration est souvent insuffisante (Tardat, 1992).



**Figure 29 :** Variation de phosphore (P) des eaux des forages



**Figure 30 :** Variation de l'Orthophosphate ( $\text{PO}_4^-$ ) des eaux des forages

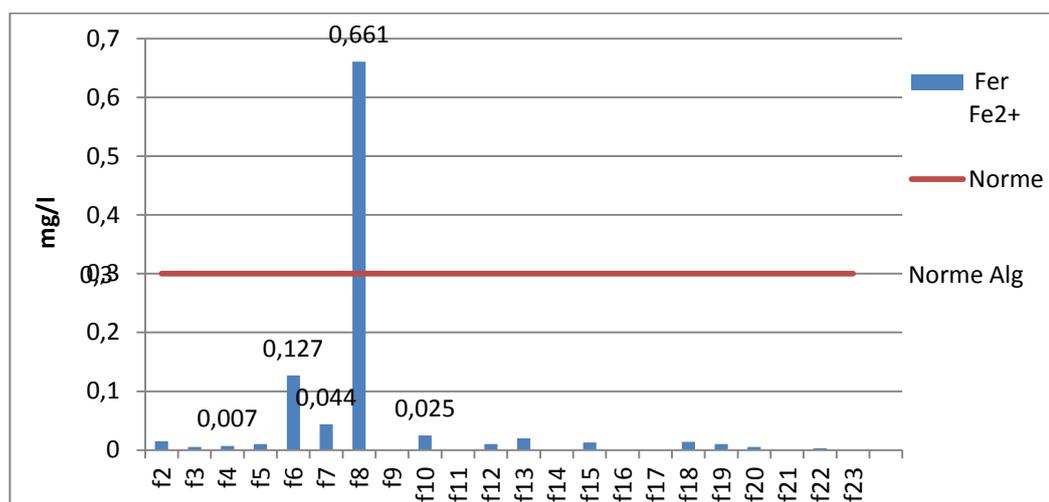
Les résultats d'orthophosphate sont inférieurs à celles enregistrées par Begra et Telli (2018) ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^- \leq 0,472 \text{ mg/l}$ ) et par Dahou et Belmokhtar (2018) qui elles ont enregistré ( $0 \text{ mg/l} \leq \text{PO}_4^- \leq 0,226 \text{ mg/l}$ ). Cette année, on remarque que l'Orthophosphate est nul par rapport les années précédentes.

#### 1.5.4. Fer

D'après Potelon (1998), le fer est un élément indispensable au fonctionnement du corps humain (synthèse d'hémoglobines du sang).

On remarque que la majorité des forages ont enregistré des valeurs inférieures de 0.1 mg/l à l'exception de f6 a enregistré une valeur 0,127 mg/l, et le f8 a dépassé la norme (0.3 mg/l) à 0,661 mg/l (fig. 31).

Le teneur en fer élevé dans le f8 qui dépasse la norme, ça tourne peut être causé au lessivage de sol ou par dissolution des roches, d'une manière général à cause des phénomènes qu'augmentent la teneur en Fer dans l'eau de ce forage.



**Figure 31 :** Variation de fer ( $Fe^{2+}$ ) des eaux des forages

Lorsqu'on compare les teneurs en fer avec les résultats de Begra et Telli (2018) on trouve que les résultats sont proches ( $0 \text{ mg/l} \leq Fe^{2+} \leq 0,76 \text{ mg/l}$ ), donc il existe une pollution par le fer dans quelque forages de la vallée du M'Zab auparavant. Pour Dahou et Belmokhtar (2018) cas d'Oued Metlili les résultats sont inférieurs de notre étude ( $0 \text{ mg/l} \leq Fe^{2+} \leq 0,66 \text{ mg/l}$ ), alors la nappe albienne de l'Oued Metlili est moins polluée que la nappe albienne de l'Oued M'Zab.

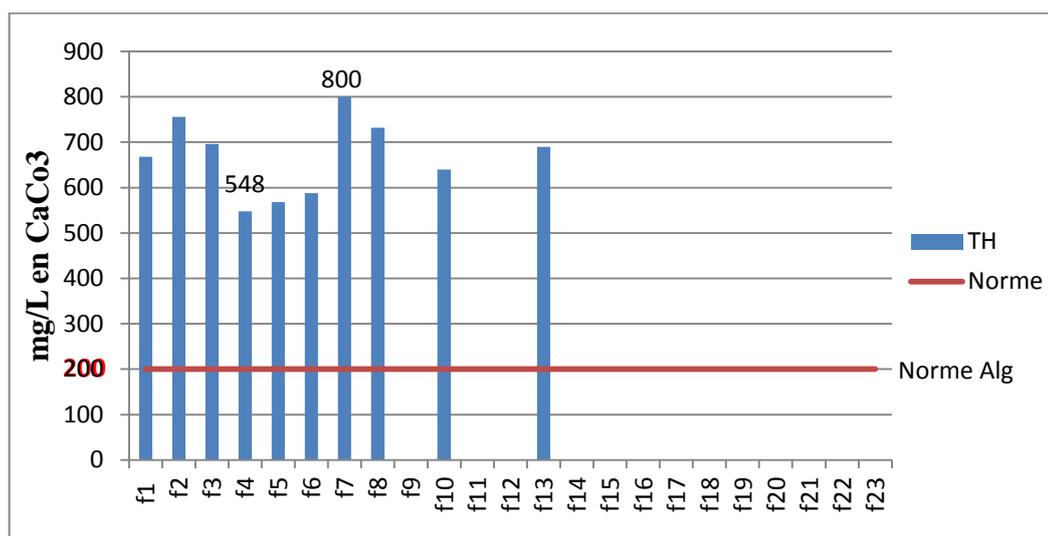
## 1.6. Eléments majeurs

### 1.6.1. Dureté totale

La dureté totale a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et en magnésium (Hakmi, 2006). Ce paramètre présente une grande variation qui serait liée à la nature lithologique de la formation aquifère (Ghazali et Zaid, 2013).

Selon la présentation graphique (fig. 32) on remarque que toutes les valeurs de TH ont dépassé les limites maximales du seuil. Les forages f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7,f8,f10 et f13 ont dépassés la normes 200 mg/l et surtout le f7 a enregistré une valeurs très élevé à 800 mg/l.

Alors on remarque que les valeurs sont très élevées et dépassent la norme et ça tourne à la teneur élevée en calcium et magnésium.



**Figure 32 :** Variation de la dureté totale (TH) des eaux des forages

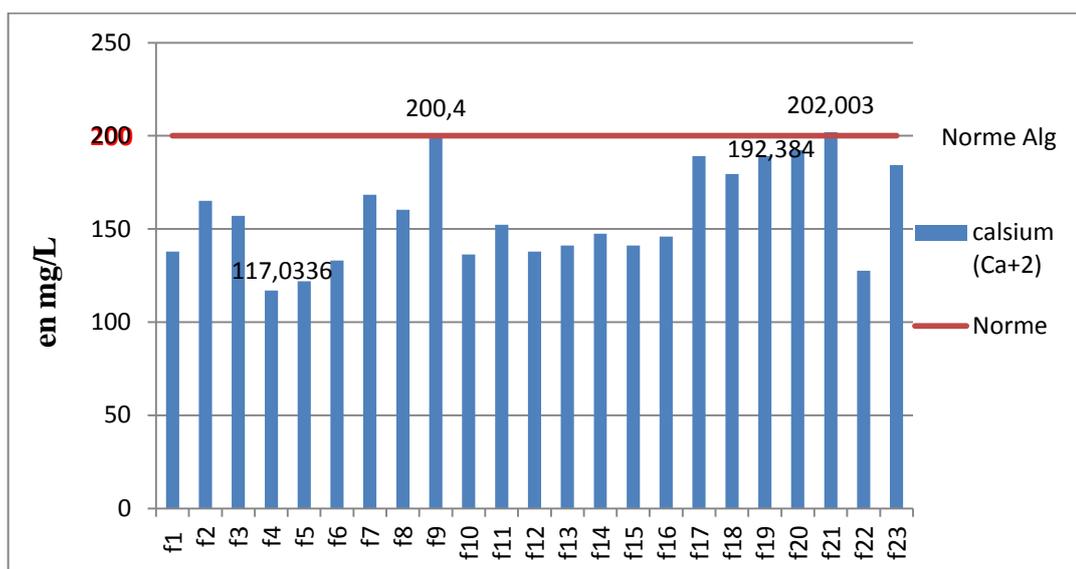
Les résultats de TH sont proches de celles obtenues par par Begra et Telli (2018) cas de l'Oued M'Zab ( $548 \text{ mg/l} \leq \text{TH} \leq 800 \text{ mg/l}$ ) et supérieures de celles obtenus par Dahou et Belmokhtar (2018) cas de l'Oued Metlili ( $396 \text{ mg/l} \leq \text{TH} \leq 780 \text{ mg/l}$ ). Généralement les teneurs de TH sont dépassées la norme algérienne dans tous les études.

### 1.6.2. Calcium

C'est un composant majeur de la dureté de l'eau. Il est généralement l'élément dominant des eaux potables. Sa teneur varie essentiellement suivant la nature de terrain traversé (Queneau et Hubert, 2009).

D'après les normes Algériennes de potabilité pour le calcium, fixées à 200 mg/l (JORA, 2011), les résultats montrent que le f9 a enregistré 200,4 mg/l et f21 a enregistré 202,003 mg/l. Alors que les autres forages ont enregistré des valeurs moyennes relativement situés entre  $100 \text{ mg/l} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 200 \text{ mg/l}$ . ces valeurs sont élevées à cause de l'origine des terrains traversé qui est riche en calcaire (fig. 33).

Alors que les autres forages ont enregistré des valeurs moyennes relativement situés entre  $100 \text{ mg/l} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 192.384 \text{ mg/l}$ .



**Figure 33 :** Variation de calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) des eaux des forages

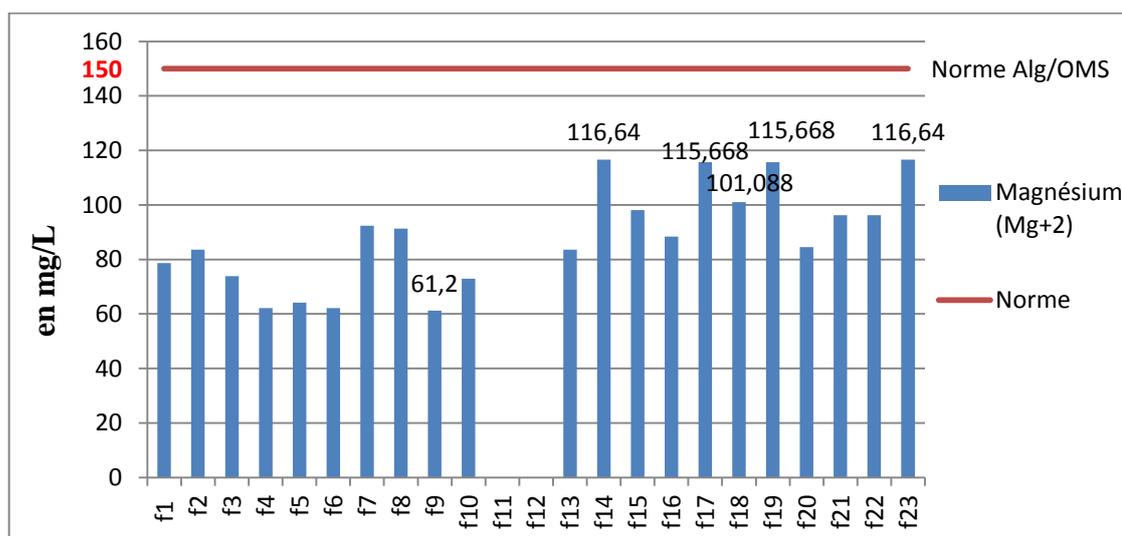
Selon notre étude, les valeurs de  $\text{Ca}^{2+}$  sont plus élevées par rapport l'étude de Begra et Telli (2018) à Oued M'Zab ( $120,24 \text{ mg/l} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 196,392 \text{ mg/l}$ ), et l'étude de Dahou et Belmokhtar (2018) dans la vallée de Metlili ( $13,362 \text{ mg/l} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 124 \text{ mg/l}$ ). On peut expliquer ces teneurs élevées à l'origine des terrains traversé qui est riche en calcaire.

### 1.6.3. Magnésium

C'est un des éléments les plus répandus dans la nature, il donne un gout désagréable à l'eau (Rodier et *al.*, 2009). Selon Nouayti et *al.*, (2015), la source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

Selon les normes Algériennes de l'eau potable pour le magnésium, fixées à 150 mg/l (JORA, 2011). La chose remarquable à propos des résultats obtenus (fig. 34), est que toutes les valeurs des forages sont loin du seuil spécifié pour le magnésium, à l'exception les forages f14, f17, f19 et f23 qui ont des valeurs relativement plus élevées par rapport à autre forages ( $\geq 100$ ).

Les valeurs élevées en magnésium peuvent être causé par la grande solubilité de magnésium ou par la dissolution géologique surtout celui qu'est riche en magnésium.



**Figure 34 :** Variation de magnésium (Mg<sup>2+</sup>) des eaux des forages

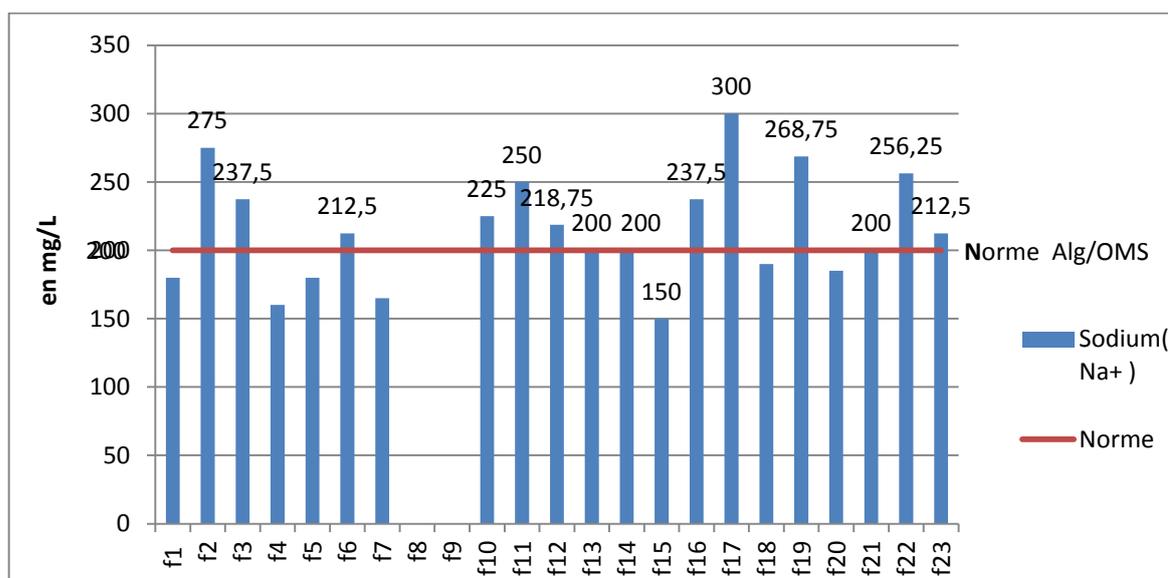
Les résultats de Mg<sup>2+</sup> sont proches aux résultats de Begra et Telli (2018) cas de l'Oued M'Zab (60,264 mg/l ≤ Mg<sup>2+</sup> ≤ 133,65 mg/l), ils sont supérieurs aux résultats de l'Oued Metlili est (13,362 mg/l ≤ Mg<sup>2+</sup> ≤ 193,978 mg/l) (Dahou et Belmokhtar, 2018) et (42 mg/l ≤ Mg<sup>2+</sup> ≤ 35 mg/l) (Guerbouz, 2005), donc les eaux phréatiques de la vallée du M'Zab sont riches en Mg<sup>2+</sup> par rapport à la vallée du Metlili.

#### 1.6.4. Sodium

D'après Rodier *et al.*, (2009), le sodium est un élément constant de l'eau, toutefois les concentrations peuvent être extrêmement variables. Le sodium est un élément vital qui participe à des fonctions essentielles dans l'organisme.

Selon les résultats (fig. 35) des analyses effectuées, les teneurs en sodium dépassent la norme Algérienne (200 mg/l) concernant les forages f2,f3,f6,f10,f11,f12,f16,f17,f19,f22 et f23 donc on observe que les eaux de ces forages contiennent une quantité considérable des sels tandis que les forages f13,f14,f18 et f21 ont enregistré des valeurs compatibles à la norme 200 mg/l. le reste des forages ont enregistré des valeurs inférieur de norme.

Les eaux de ces forages ont enregistré des valeurs élevées de la teneur en sodium et ça signifie que ces eaux contient une quantité des différents sels considérable qu'est peut être influé sur le gout de ces eaux.



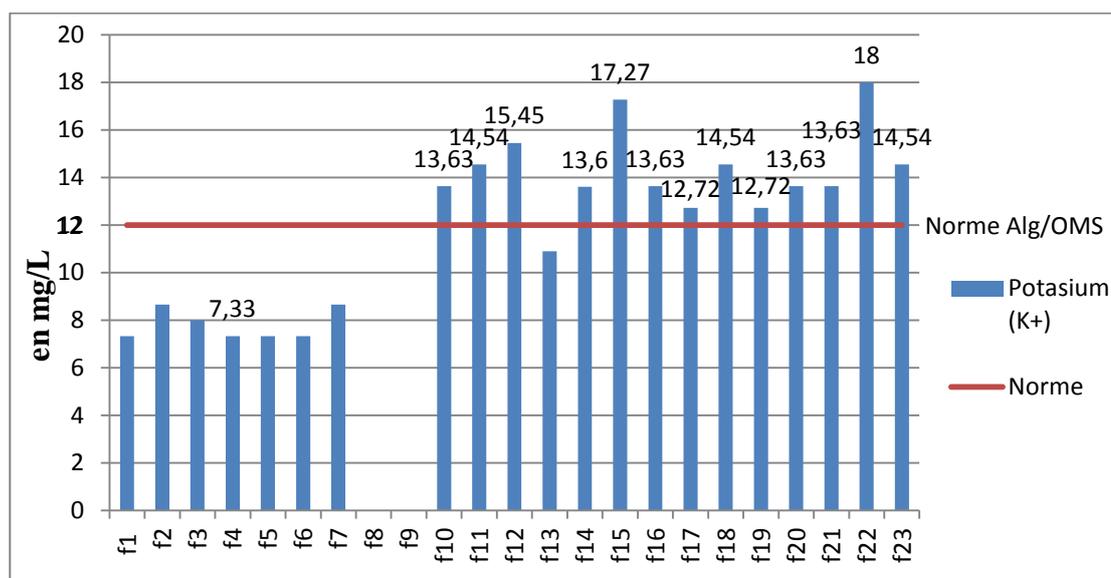
**Figure 35 :** Variation des valeurs de Sodium ( $\text{Na}^+$ ) des eaux des forages

Nos résultats obtenus de  $\text{Na}^+$  sont généralement supérieurs que les autres études, on mentionne; Begra et Telli (2018) cas d'Oued M'Zab avec ( $80,16 \text{ mg/l} \leq \text{Na}^+ \leq 198,26 \text{ mg/l}$ ) et pour Dahou et Belmokhtar (2018) cas d'Oued Metlili ( $80,164 \text{ mg/l} \leq \text{Na}^+ \leq 115,236 \text{ mg/l}$ ) et d'après Guerbouz (2006) ( $155 \text{ mg/l} \leq \text{Na}^+ \leq 200 \text{ mg/l}$ ), donc on peut dire que les eaux des forages de vallée du M'Zab et Metlili sont riche en sodium dépassant la norme algérienne dans certaines sites. Ça peut être à causes des facteurs édaphiques qui influent sur la qualité de ces eaux.

### 1.6.5. Potassium

D'après Coulibaly (2005), le potassium joue un rôle essentiel chez l'homme pour lequel les besoins de l'organisme sont de l'ordre de 1.5 à 4 g/jour. Une carence en potassium provoque des dysfonctionnements cardiaques.

La présentation graphique (fig. 36), montre que les forages f10, f11, f12, f14, f15, f16, f17, f18, f19, f20, f21, f22 et f23 ont enregistré des valeurs très élevés dépassent la norme Algérienne (12 mg/l) et les autres forages ont enregistrés des valeurs inférieur de norme.



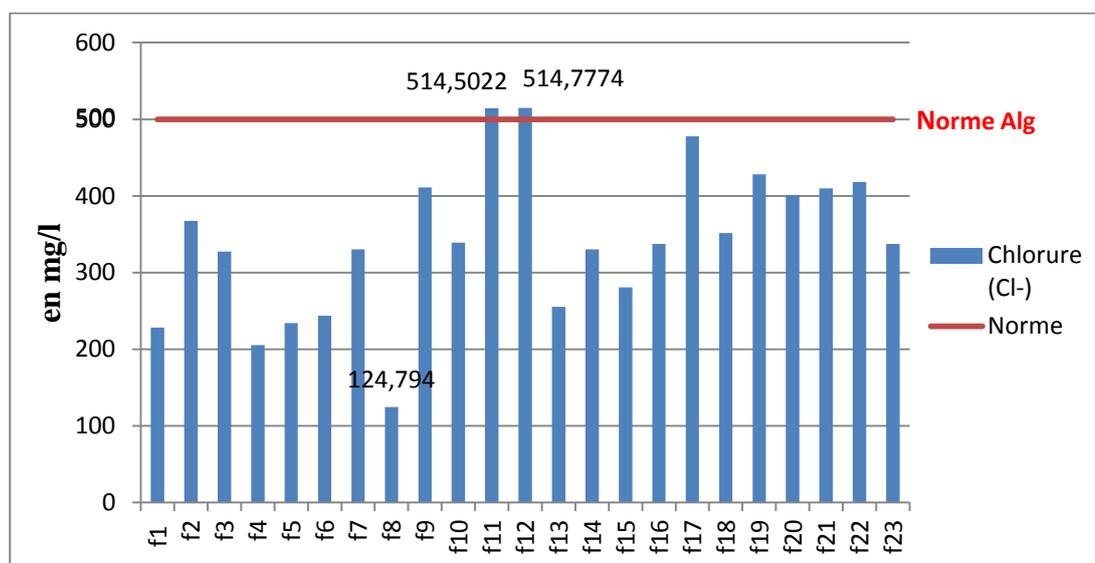
**Figure 36 :** Variation des valeurs de potassium ( $K^+$ ) des eaux des forages

La teneur de potassium dans la vallée du M'Zab entre l'année 2018 et 2020 est différente, selon Begra et Telli (2018) ont enregistré ( $2,66 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 130,97 \text{ mg/l}$ ) cela est supérieur de nos résultats. Quant à la vallée du Metlili, nos résultats sont proches au Guerbouz (2005) qui a enregistré (moins de  $20 \text{ mg/l}$ ), par contre l'étude de Dahou et Belmokhtar (2018), leurs résultats sont inférieurs de nos résultats ( $3,587 \text{ mg/l} \leq K^+ \leq 3,984 \text{ mg/l}$ ).

#### 1.6.6. Chlorures

Ils sont très répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium ( $\text{NaCl}$ ) de potassium ( $\text{KCl}$ ) et de calcium ( $\text{CaCl}_2$ ). La présence de chlorures dans les eaux naturelles peut être attribuée à la dissolution de dépôt de sel gemme, aux effluents de l'industrie chimique, aux rejets des égouts (Bouziani, 2000 ; Benhedid, 2014).

Les teneurs en  $\text{Cl}^-$  sont très élevés dans la majorité des forages où ils ont enregistré des valeurs entre  $200 \leq$  et  $\geq 500 \text{ mg/l}$ , sauf que le f11 et f12 ont dépassés la norme  $500 \text{ mg/l}$  et le f8 a enregistré une valeur inférieure de  $200 \text{ mg/l}$  (fig. 37).



**Figure 37 :** Variation de chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) des eaux des forages.

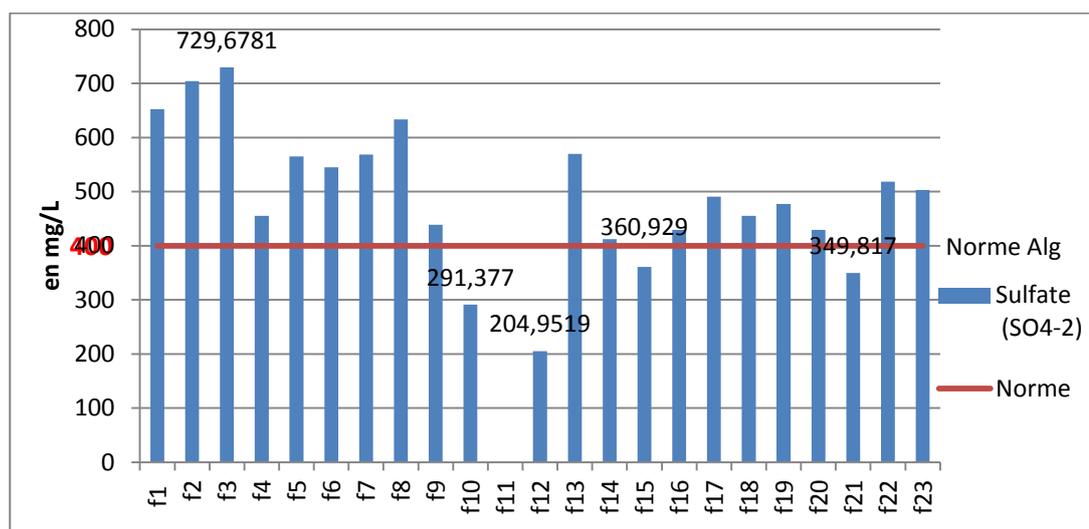
Nos résultats sont proches aux résultats de l'Oued M'Zab en 2018 par Begra et Telli (2018) ( $141,812 \text{ mg/l} \leq \text{Cl}^- \leq 460,889 \text{ mg/l}$ ), d'une part les résultats de l'Oued Metlili sont inférieurs de nos résultats ( $192,864 \text{ mg/l} \leq \text{Cl}^- \leq 431,766 \text{ mg/l}$ ) (Dahou et Belmokhtar, 2018) et ( $215 \text{ mg/l} \leq \text{Cl}^- \leq 270 \text{ mg/l}$ ) (Guerbouz, 2006). Donc la teneur de  $\text{Cl}^-$  dans la vallée du M'Zab est plus élevée que la vallée du Metlili.

### 1.6.7. Sulfate

Selon Choteau (2014), les ions sulfates sont par eux-mêmes peu toxiques. Cependant des concentrations inférieures peuvent affecter les enfants et les nouveaux consommateurs d'eau qui n'y sont pas habitués (troubles gastro-intestinaux et diarrhéiques).

Les résultats (fig. 38) montrent que les seuls f10, f12, f15 et f21 qui enregistrent des valeurs inférieure de la norme Algérienne ( $400 \text{ mg/l}$ ), comme le f12 est le plus moins de concentration du sulfate que les autres qui marqué  $200 \text{ mg/l}$ . Tandis que les autres forages ont enregistrés des valeurs très élevées et dépassés la norme.

Ces résultats élevés en sulfate peuvent être signifiés que ces forages ont contaminés par des substances industrielles ou que ces forages ont forés dans des endroits gypseux.



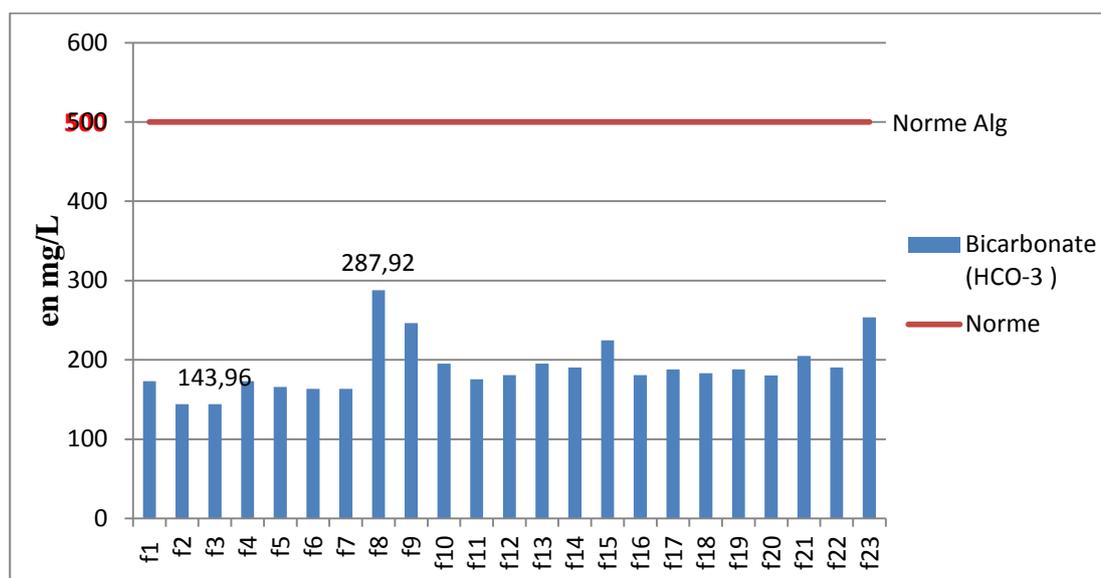
**Figure 38** : Variation des valeurs de sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) des eaux des forages

Les teneurs en sulfate dans nos résultats sont supérieures que les résultats de Begra et Telli (2018) cas de l'Oued M'Zab avec ( $162,150 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 550,653 \text{ mg/l}$ ) et la même chose par Dahou et Belmokhtar (2018) cas de l'Oued Metlili qui ont enregistrées ( $12,758 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 497,563 \text{ mg/l}$ ) et par Guerbouz (2005) leur résultats ( $278 \text{ mg/l} \leq \text{SO}_4^{2-} \leq 430 \text{ mg/l}$ ) cas de l'Oued Metlili.

### 1.6.8. Bicarbonate

L'ion Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) est le principal constituant alcalin de la plupart des eaux courantes. Sa présence dans l'eau est due à l'action des bactéries qui fournissent du  $\text{CO}_2$  à partir des minéraux contenant des carbonates (Himmi et *al.*, 2003).

Selon la présentation graphique (fig. 39), les teneurs de  $\text{HCO}_3^-$  sont varient entre 200 à 300 mg/l enregistré au niveau de f8, f9, f15 et f23 comme des valeurs maximums et des valeurs minimums entre 100 à 200 mg/l enregistré au niveau des reste forages. Ces teneurs sont compatibles avec les normes Algériennes (500 mg/l).



**Figure 39** : Variation des valeurs de bicarbonates des eaux des forages

Nos résultats de Bicarbonate sont inférieurs que les résultats de Begra et Telli (2018) cas de l'Oued M'Zab avec des valeurs relativement proches qui sont ( $14,4 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 239,12 \text{ mg/l}$ ) et pour Dahou et Belmokhtar (2018) cas de l'Oued Metlili ( $60,264 \text{ mg/l} \leq \text{HCO}_3^- \leq 307,44 \text{ mg/l}$ ) qui sont très élevées de notre résultats.

## 2. Résultats d'analyses bactériologiques

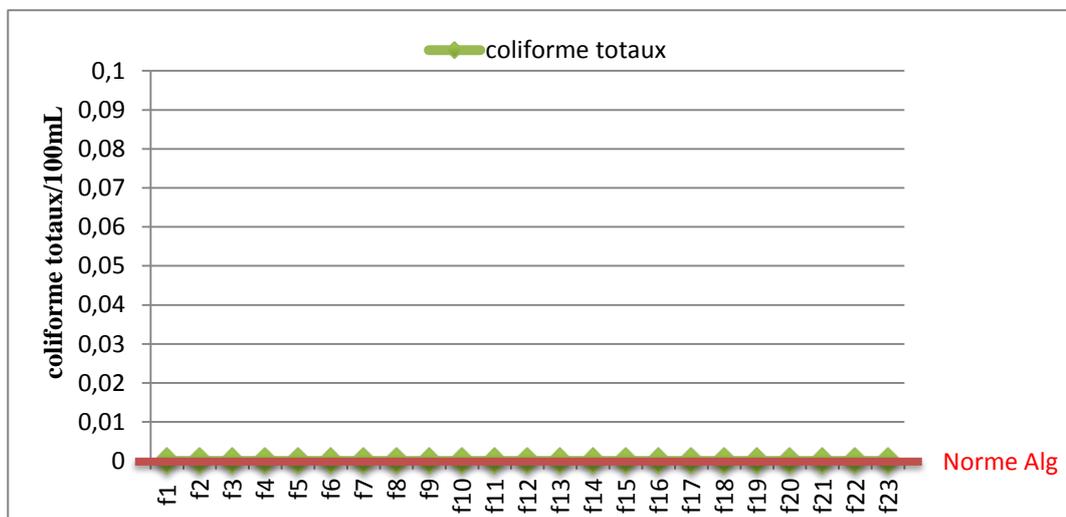
L'analyse bactériologique permet de mettre en évidence la pollution fécale de l'eau. A cause des grands dégâts causés par les bactéries qui provoquent des différentes maladies hydriques, il est très important de faire des analyses bactériologiques pour éviter la catastrophe sanitaire des consommateurs.

Pour cela, dans cette analyses bactériologique indicatrices à la contamination fécale effectués sur vingt-trois forages répartirent sur le long de vallée de M'Zab indiquent l'absence des coliformes totaux, des coliformes fécaux, des streptocoques fécaux et des spores.

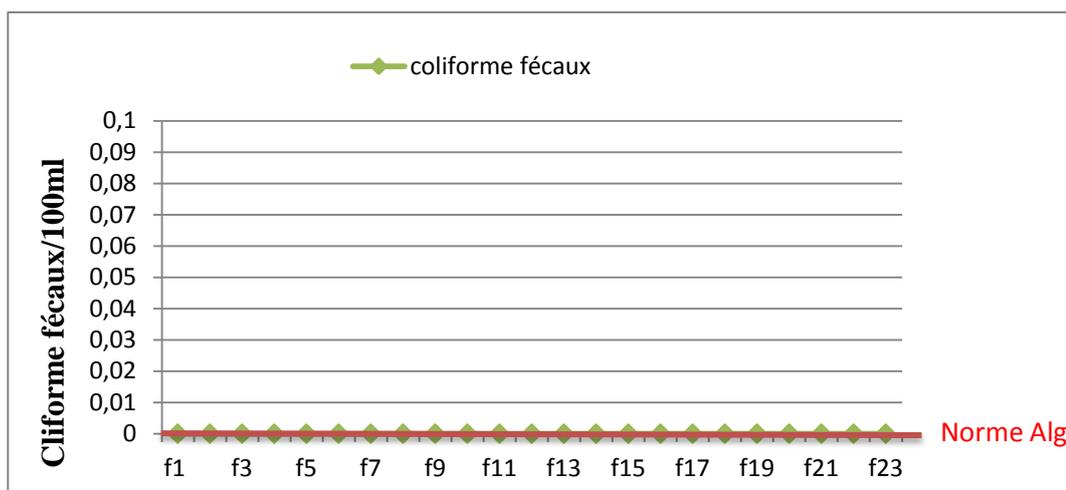
### 2.1. Coliformes totaux et fécaux

La présence des coliformes thermo-tolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'eau d'après (Rodier *et al.*, 2009 ; El-Haissoufi *et al.*, 2011). L'OMS (2004), énonce que la présence d'*E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente.

Les résultats des analyses (fig. 40 ; 41) bactériologiques indiquent que tous les 23 forages ne contiennent pas des coliformes totaux ni des coliformes fécaux (0/100 ml). Ce qui veut dire qu'ils sont compatibles aux normes Algériennes (0/100 ml).



**Figure 40 :** Dénombrement du coliformes totaux dans les forages.



**Figure 41 :** Dénombrement des coliformes fécaux dans les forages.

## 2.2. Streptocoques fécaux

La détection d'entérocoques dans une nappe d'eau souterraine doit faire penser à une contamination d'origine fécale et la présence de micro-organismes entéropathogènes (Chevalier, 2002 ; Ladjel, 2009). Selon (Figarella et Leyral, 2002 ; Rodier et *al.*, 2005), la présence des streptocoques fécaux doit s'accompagner de la présence de coliformes fécaux pour être certain d'une contamination fécale d'une eau d'alimentation.

Les résultats analytiques (fig. 42) ont montrés que tous les forages ont donnés des résultats satisfaisants et sont compatibles avec les normes algériennes (0/100 ml), vu qu'ils n'ont enregistré aucune présence des streptocoques dans les eaux des forages analysés.

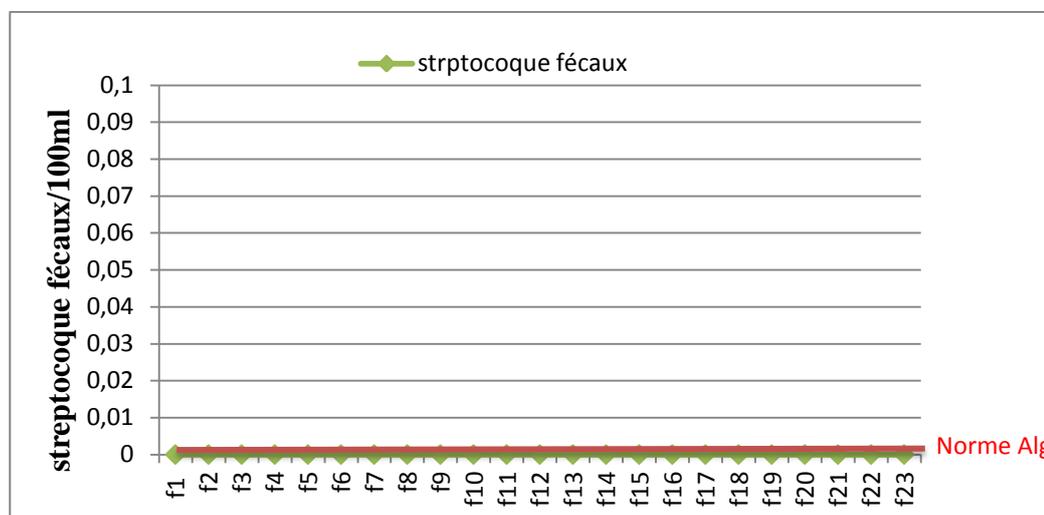


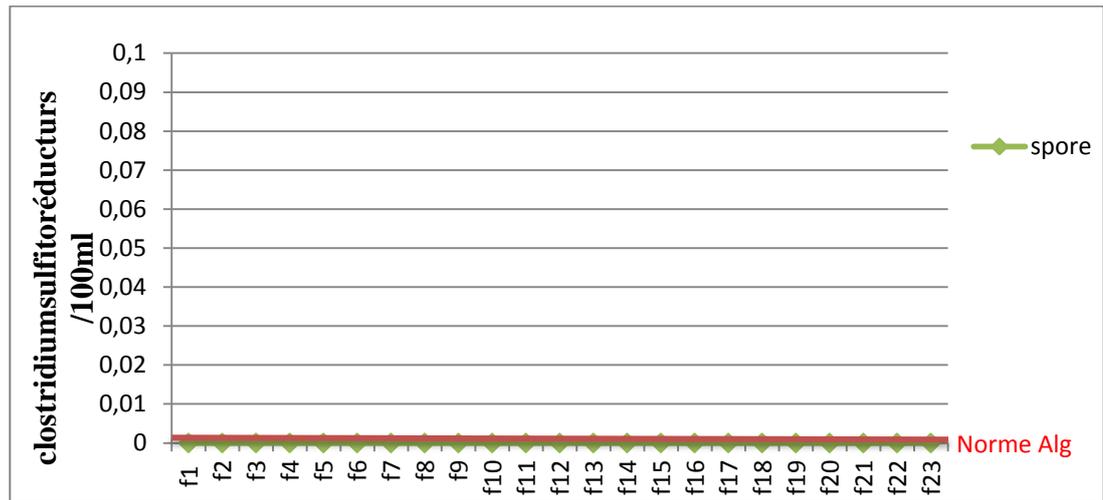
Figure 42 : Dénombrement du Streptocoques fécaux dans les forages.

### 2.3. Clostridium sulfito-réducteurs

Les Clostridium sulfito-réducteurs sont des germes capables de sporuler et de se maintenir longtemps dans l'eau. Ils sont donc les témoins d'une pollution ancienne. Plus difficilement tués que les coliformes par les désinfectants, ils constituent donc un bon indicateur de l'efficacité de la désinfection (Hamed et *al.*, 2012).

Les valeurs enregistrées dans (fig. 43) montrent l'absence des Clostridiiums sulfito-réducteurs dans toutes les eaux des forages analysés (0/100 ml), ce qu'ont recommandés par les normes algériennes (0/100 ml).

On peut déduire de tous ces résultats bactériologiques précédents que tous les forages ont caractérisés à une bonne qualité bactériologiques. En plus, l'absence des clostridium sulfito-réducteurs "les spores", distingue que ces forages n'enregistrent pas une pollution ancienne.



**Figure 43 :** Dénombrement des spores dans les forages.

Nos résultats bactériologiques étaient parfaits et y a aucune présence des coliformes totaux, fécaux et streptocoque fécaux et les spores (clostridium-sulfito-réducteur), par rapport les résultats de Begra et Telli (2018) cas de l'Oued M'Zab, qui elles ont montré la présence des coliformes totaux (04 UFC/100 ml), (01 UFC/100 ml) *E.coli* et (08 UFC/100 ml) de streptocoque fécaux dans les eaux des forages. Aussi, dans la même étude, les eaux des puits avaient des valeurs du (460 UFC/100 ml) où quelque puits ont enregistré (07 UFC/100 ml) de *E.coli*. Donc comparant aux résultats on remarque que les eaux des forages (la nappe albienne) sont moins polluées que les eaux des puits (nappe phréatique) dans la vallée du M'Zab.

*Conclusion*

## Conclusion

Vu que notre travail concerne la qualité des eaux souterraines destinées à la consommation humaines ça veut dire qu'il faut consacrer tous les moyens pour assurer une bonne qualité en eau potable pour les consommateurs. Une eau à bonne qualité se passe par des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Les analyses effectuées sur les eaux des forages montrent généralement que ces eaux ont une bonne à moyenne qualité physico-chimique. La majorité des forages sont compatibles à la norme 25°C de température, concernant le pH tous les forages conforment la norme  $\geq 6.5$  et  $\leq 9$ . Les forages de Bouhroua1 (f 17) et Bouhroua chaabet tobi (f 19) sont marqués par des teneurs de CE très élevés par rapport les autres forages d'une valeur de 2560  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 2660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  mais aucun forage dépasse la norme 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Ces eaux sont claires et conforment la norme de la turbidité 5 NTU.

Tous les forages ne dépassent pas les normes des paramètres de la pollution : nitrite, nitrate, orthophosphate et le fer, ils ne représentent aucune contamination de ces eaux par ces paramètres, excepté le forage Hamrayat (f 8) dépasse la norme de fer 0.3 mg/l avec une teneur de 0.661 mg/l.

Tous les forages analysés dépassent la norme de TH 200 mg/l et surtout forage Hamrayat (f 8) avec une valeur très élevée de 800 mg/l. Aussi pour le sodium, le potassium et le sulfate la plupart des eaux des forages dépassent les normes 200 mg/l, 12 mg/l et 400 mg/l fixées pour ces paramètres.

Concernant le calcium que le forage de zizratu (f 9) et forage bouhroua sonalgaz (f21) dépassent la norme 200 mg/l avec des valeurs 200,4 mg/l et 202,003 mg/l en ordre. Encore les forages de zouile (f11) et sidi abaz (f12) dépassent la norme 500 mg/l de chlorure avec des valeurs 514,5022 mg/l et 514,7774 mg/l en ordre tandis que les autres forages ne dépassent pas la norme. Or tous les forages ne dépassent pas les normes du magnésium et du bicarbonate.

Ces résultats des analyses physico-chimiques peut être significatif probablement l'altération des roches mères des forages qui libère ses composants minéraux et organiques qui peuvent influencer sur la qualité physico-chimique des eaux.

Les résultats des analyses microbiologiques montrent que ces eaux sont de bonne qualité bactériologique et ne constitue aucun danger sur la santé des populations consommatrices de ces eaux.

Alors, l'eau est un élément vitale et nécessaire pour la vie de tous les êtres vivants, pour ça il faut diminuer et éviter tous les comportements qui altèrent la qualité de l'eau et peuvent faire des grands dégâts qui va influencer sur la vie.

Pour assurer une vie sanitaire lors la consommation d'eau, il faut éviter tout risque qui peut faire une pollution d'eau et ça se fait par :

- ✓ Contrôler les sources d'eau d'un suivi périodique ;
- ✓ Eloigner les agglomérations du les sources d'eau ;
- ✓ Eviter les comportements négatifs (les déchets, remplissage des puits ou des forages par des puits avec des pierres et de la saleté, ...etc.) qui va altérer l'eau ;
- ✓ Nettoyer et stérile les puits et les forages d'eau ;
- ✓ Eloigner le réseau d'assainissements des eaux usées du réseau en eau potable.

# *Bibliographie*

## Bibliographie

- **Abdelbaki C. et Boukli Hacene F., (2007).** Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°2. pp 257 – 263.
- **Achour M., (2014).** Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride : cas de la vallée de M'Zab (Ghardaïa – Algérie), Mémoire de magister. Université d'Oran. février 2014, 4 p.
- **Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG), (2012).** Les eaux souterraines, Toulouse, Cedex 4, 5p.
- **Agence Nationale des Ressources Hydrique (ANRH), (2010).** Note de synthèse sur les premières mesures piézométriques en utilisant les nouveaux piézomètres captant la nappe du continental Intercalaire dans la wilaya de Ghardaia, rapport de l'Agence nationale ressource hydrique, Ouargla, p10.
- **Agence Nationale de Développement de l'Investissement (ANDI), (2013).** Investissement in Alegria 2013
- **Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques, (2010).** Note de synthese sur les premieres mesures piezometriques en utilisant les nouveaux piezometres captant la nappe du ci dans la wilaya de ghardaia. Direction regionale sud – ouargla. Algérie.
- **Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques, (2011).** Inventaire des forages d'eau et enquête sur les debits extraits de la wilaya de ghardaia. Direction regionale sud – ouargla. Algérie.
- **Agence Nationale Des Ressources Hydrauliques, (2019).** Gestion des ressources en eau souterraine dans la région de Ghardaïa. Direction régionale sud – ouargla. Algérie.
- **Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G. et Biemi J., (2013).** Evolution spatiotemporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), International Journal of Pure & Applied Bioscience, Vol 1, N° 3, PP: 45-60.
- **Aissaoui A, (2013).** Evaluation du niveau de contamination des eaux de barrage hammam gouzi de la région de oued ATLHMANIA (wilaya de MILA) par les activités agricoles. Mémoire magister. Université Mouloud Mammari De Tizi-Ouzou.
- **Aka N., Bamba S.B., Soro G., Soro N., (2013).** Etude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Cote d'Ivoire), Larhyss Journal, N°16, PP : 31-52.
- **Amadou H., Laouali M.S., Manzola A., (2014).** Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de trois aquifères de la région de Tillabery : application des méthodes d'analyses statistiques multi variées, Larhyss Journal, N° 20, PP: 25-41.
- **Anofel., (2014).** Paludisme Association Française des Enseignants de Parasitologie et Mycologie. 6èmé édition, Format utile, p : 108-126.
- **Archibald F. (2003).** Coliformes fécaux. Institut national de santé publique de Québec. 3p.
- **Archibald F., (2000).** The presence of coliform bacteria in Canadian pulp and paper mill water systems - a cause for concern? Water Qual Res J. Canada, 35, PP:1-22.
- **Arjen V.D.W., (2010).** Connaissances des méthodes de captage des eaux souterraines : Souterraines aux forages manuels, Un manuel d'instruction pour les équipes de forage manuel sur l'hydrogéologie appliquée, l'équipement et le développement des forages, Fondation Practica, Oosteind, P10.
- **Ayad W., (2017).** Evaluation de la qualité physico-chimique 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)].” Accessed July 8

- **Barry G.S., (1989).** Sodium sulphate. Canadian minerals yearbook – 1988. Mineral Report, n° 37. Division des ressources minérales, énergie, mines etressources. Ottawa
- **Bazine N et Bourenane A., (2011).** Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de l'oued Messida (parc national d'El kala ,W .d'El-Taref ). Mémoire de Master. Université de 08 Mai 1945 Guelma ,17 -18 p
- **Baziz N., (2008).** Etude sur la qualité de l'eau potable et risques potentiels sur la santé: cas de la ville de Batna. Thèse de doctorat, Université El Hadj Lakhdar, Batna, 128p
- **Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R., (2013).** Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe plio-quaternaire de la région de Meknès (Maroc). 16p.
- **Belhaj A., (2001).** Les épidémies d'origine hydrique dans le monde- Synthese Technique- ENGRET centre de Montpellier et OIE de Limoges, pp 1-16.
- **Ben Hida A. Merzouki M., Aboulkacem A. et Moumni M., (2012).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de certains puits de la ville de meknès, maroc. *Revue Agrobiologia.2.*p57-66
- **Ben Semaoune Youcef., (2008).** Les parcours sahariens dans la nouvelle dynamique spatiale : contribution à la mise en place d'un schéma d'aménagement et de gestion de l'espace (S.A.G.E.)- cas de la région de Ghardaïa. Mémoire de magister en agronomie saharienne. Université Kasdi Merbah – Ouargla, p36
- **Benamar N., Mouadiah N., Benamar A., (2011).** Étude de la biodiversité et de la pollution dans les canaux de l'Ouest algérien: le cas de l'oued Cheliff, Colloque international, Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée: quels enjeux pour quels services ?, Université de Provence, Marseille, 20-21 janvier 2011, 6 p
- **Bengaibona B.B., (2010).** Analyse comparée des qualités microbiologique et physico-chimique des eaux de pluie stockées dans des citernes en Ferro ciment : Cas des impluviums de DORI. Mémoire de fin d'étude de master. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, p8
- **Benhedid H., (2014).** Étude de l'impact des eaux usées sur la variabilité de la pollution des aquifères superficiels à Oued M'Zab, Mémoire de Magistère.
- **Benmaïd A., (2013).** La sécurité liée à l'eau : gestion des risques et arbitrages, Commissariat général au développement durable, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable, études & documents, N° 100, 40p.
- **Bensaha H., Bensaha L., Achour M., (2011).** Réflexions pour préserver l'environnement : cas de la vallée du M'Zab (Algérie)
- **Bneder, (1988).** Etude des ressources du milieu pour la mise en valeur dans la Wilaya de Ghardaïa : Analyse de la situation actuelle, Alger, BNEDER, 164p
- **Boucenna F., (2009).** Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'Oued Djendjen (JIJEL, nord -est ALGERIEN). Mémoire magister. Université Badji mokhtar-annaba.P133.
- **Boucherit A., Hakimi H., (2016).** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau du Barrage Hammam Debagh –Guelma. Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master. Université 8 Mai 1945 Guelma
- **Bouras Z et Sekfali S., (2013).** Evaluation de la qualité physico-chimique et

bactériologique des eaux superficielles « cas d'Oued Zénati » (Nord - Est Algérien). Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 de Guelma. 9-10-20p.

- **Bourgeois C.M., et Leveau J.Y., (1980).** Techniques d'Analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaire. APRIA. 331p
- **Bouselsal B., (2014).** FORAGE D'EAU procédés et mesures. Destiné aux étudiants de 3ème année licence Hydrogéologie. Université de Kasdi Merbah-Ouargla Faculté des hydrocarbures, des Energies renouvelables et des Sciences de la terre et de l'univers Département des Sciences de la terre et de l'univers
- **Bouziati M., (2000).** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition ibn khaldoun, 247p
- **Bouziati M., (2006).** L'eau dans tous ses états, Editions Dar El Gharb, PP : 31,113.
- **Bremond R. et Vuichard R., (1973).** Les paramètres de la qualité des eaux. La documentation française, Paris, 173p
- **Bremond R. et Vuichard R., (1973).** Paramètres de la qualité des eaux, Ministère de la protection de la nature et de l'environnement, SPEPE, Paris, 179.
- **Cantor K.P., (1997).** Drinking water and cancer, Cancer causes and control, N°8, PP:292– 308.
- **Carbonnelle D. et Kouyoumdjian S., (1988).** Bactériologie médicale techniques usuelles. Méd. Mal. Inf. 251 p
- **Cardot C., (1999).** Les traitements de l'eau : procédés physico-chimiques et biologique : Cours et problèmes résolus, Ellipes Edition Marketing, paris, cedex 15, PP : 25-28.
- **Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), (2011).** Recherche et dénombrement des bactéries hétérotrophes aérobies et anaérobies facultatives : méthode par incorporation à la gélose, MA.700-BHA35 1.0, Rév.3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 15
- **Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (CEAEQ), ( 2016).** *Détermination de la turbidité dans l'eau : méthode néphélométrique.* MA. 103 – Tur. 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, 2016, 11 p.
- **Chaker H. K., Slimani A., (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi-aride d'Oum El Bouaghi : Nord-est de l'Algérie, Institut des sciences agronomiques, université d'El Tarf, Algérie, 10p.
- **Chapman D., Kimstach V., (1996).** Selection of water quality variables. Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
- **Chekroud H., (2007).** Etude de la pollution des eaux de la plaine Telezza due aux activités agricoles et commerciales, Mémoire de Magister, Université du 22 Aout 1955, Skikda, Algérie, 56p.
- **Chelli L., Djouhri N., (2013).** Analyses des eaux de réseau de la ville de Béjaia et évaluation de leur pouvoir entartrant. Université A. MIRA – BEJAIA, p6
- **Chenini., (2005)** : valorisation de la biomasse phoenicicole et stratégie de conservation insu : region de Ghardaïa .mémoire ING. Département de biologie Université d'Ouargla. 111p.
- **Chérif Ibrahima K., (2006).** Étude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar, Mémoire de diplôme d'études approfondies de productions animales. Université cheikh Anta Diop de Dakar, 16 p

- **Chevalier P., (2002).** Entérocoques et streptocoques fécaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine, Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 5 p.
- **Chevalier P., (2003).** Coliformes totaux. Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Groupe scientifique sur l'eau, Institut national de santé publique du Québec, 4 p.
- **Choteau B., (2014).** La souffrance globale en fin de vie. Manuel de soins palliatifs-4<sup>e</sup> édition: Clinique, psychologie, éthique, p.15
- **Codex Alimentarius, (2007).** L'eau. Premier édition. p1
- **Conseil interministériel fédéral de formation sur la qualité de l'eau (CIFIQE), (2011).** Qualité de l'eau 101 Introduction aux microsystèmes d'approvisionnement en eau potable, Version 1.1, p12
- **Coulibaly K., (2005).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. Thèse de doctorat d'état, université de Médecine de Pharmacie et D'Odonto Stomatologie, Bamako, 196 p
- **Daddi Bouhoun M., (1997).** Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : cas du M'Zab. Thèse de Magister. El-Harrach. I.N.A. 180p,
- **Dajoz., (2006)** .Précis d'écologie .Ed. Dunod.Paris. 621p. De l'environnement. Ed DUNOD.France.
- **Debieche T.H. (2002).** Evolution De La Qualité Des Eaux (Salinité), Azote et métaux lourds), Sous L'effet De La Pollution Saline, Agricole Et Industrielle. Application à la Basse Plaine De La Seybouse Nord-Est Algérien. Thèse de Doctorat, Université de Constantine. 235p.
- **Degbey C., Makoutode M., Fayomi B., Brouwer C., (2010).** La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey au Bénin, J Int Santé Trav, Vol 1, PP : 15-22
- **Degremont G., (2005).** Mémento technique de l'eau, Tome 1, 10<sup>ème</sup> édition, Edit. Tec et doc, PP: 3- 38.
- **Delarras C., et Trebaol B. (2003).** Surveillance Sanitaire Et Microbiologique Des Eaux: Réglementation - Prélèvements - Analyses. TEC & DOC. 269p.
- **Demdoum A., (2010).** Etude hydrogéochimique et impact de la pollution sur les eaux de la région d'el Eulma, Doctorat d'état, Faculté des Sciences de la Terre, Université Mentouri Constantine, 205p.
- **Dib I., (2009).** L'impact de l'activité agricole et urbaine sur la qualité des eaux souterraines de la plaine de Gadaine- Ain Yaghout (Est Algérien), Mémoire de magister en hydraulique, construction hydro-technique et environnement, faculté des sciences de l'ingénieur, département d'hydraulique, Université Hadj Lakhdar, Batna, 127 p.
- **Djoudi H., Rafa A., (2009).** Fonctionnement du système hydraulique de partage Est de système de la palmeraie Est Ghardaïa, ENSP, 64 pages.
- **Douard P., Lebental B., (2013).** Plomb et qualité de l'eau potable : Analyse et évaluation de l'efficacité des actions engagées pour respecter la future limite de qualité de 10µg/l de plomb dans l'eau du robinet et propositions d'actions, conseil général de l'environnement et du développement durable, 73p.
- **D.P.S.B., (2018).** Annuaire statistique de la wilaya de Ghardaïa, la Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires, 26<sup>ème</sup> édition, 19-37p
- **Dubief J., (1959).** Le climat du Sahara. Institut des recherches sahariennes. Mém. Institut des recherches sahariennes, tome I. Alger, 298p.

- **Dubief J., (1963).** Le climat du Sahara. Mém. Institut des recherches sahariennes. tome II. Alger, 262p.
- **Dubost D., (2002).** Ecologie, Aménagement et Développement des Oasis algériennes. Biskra, CRSTRA, 423p.
- **Edberg S.C., Rice E.W., Karlin R.J., Allen M.J., (2000).** Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection, Journal of Applied Microbiology, N°88, PP: 106-116
- **Edmond M.B., Ober J.F., Weinbaum, D.L., Pfaller M. A., Hwang T., Sanford M.D., Wenzel R.P., (1995).** Vancomycin-resistant Enterococcus faecium bacteremia : risk factors for infection, Clin Infect Dis, Vol 20, N°5, PP: 1126-1133.
- **EL Amrani K., (2007).** La pollution de l'eau et ses impacts. Rapport. P36.
- **El Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali lalami A., (2011).** Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, Rev. Microbiol. Ind. San et Environn (5), pp. 37- 68
- **El-Beldi S., Fekhaoui M., Serghini A., et El-Abidi A., (2006).** Rizières de plaine du Gharb (Maroc) : Qualité des eaux superficielles et profondes. Bulletin de l'Institut Scientifique. (28). 55-60
- **Elmdaghri N., (2016).** Les hépatites virales. Institut Pasteur du Maroc. Lettre Pasteur. *Lettre trimestrielle d'informations Janvier 2016 / N°4*
- **Elmund G.K., Allen M.J., Rice E.W., (1999).** Comparison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency, Water Environ.Res, N°71, PP : 332-339
- **EnHealth., (2004).** La sous comité de partenariat de santé nationale publique du Gouvernement australien.
- **Evrard N., (2015).** *Onmeda*, L'eau, p1
- **Fabre J., (1976).** Introduction à la géologie du Sahara Algérien et des régions voisines. Soc. Nat. Ed. SNED. Alger, 142p. 163 fig., 4tabl. 4 pl.
- **Fakih lanjri A., Brigui J., El Cadi A., Khaddor M., Salmoune F., (2014).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Tanger, Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 5, N° S1, PP : 2230- 2235.
- **Fennich A., (2016).** Qualité chimique des ressources hydriques de la région du M'Zab. Mémoire de Master en Géologie. Université KASDI Merbah – Ouargla., p6
- **Figarella J. et Leyral G., (2002).** Analyse des eaux: Aspects réglementaires et techniques. Ed. Scérén CRDP d'Aquitaine, Paris, 360 p
- **Forapulse, (2017).** Guide sur les divers types de puits et de forages, Société Forapulse spécialiste en régénération de forages. <https://www.forapulse.com/guide-types-de-puits-et-de-forages/>
- **Gaujour D., (1995).** La pollution des milieux aquatiques : Aide mémoire. 2ème édition, Lavoisier, P49
- **Gerard G., (1999).** L'eau, milieu naturel et maîtrise, Édition INRA : Volume 1, 204p.
- **Ghazali D., Zaid A.N., (2012).** Science Lib. Editions Mersenne 4 2111-4706.
- **Ghazali D.1., Zaid A., (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source AIN SALAMA-JERRI (région de MEKNES – MAROC), Larhyss Journal, N° 12, Janvier 2013, PP : 25-36.
- **Gleeson C., Gray N., (1997).** The coliform index and waterborne disease: problems of microbial drinking water assessment, E & FN Spon, London, 194 p

- **Gouaidia L., (2008).** Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien, Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie, 131p
- **Guergazi, S., Achour S., (2005).** Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration, *Larhyss Journal*, 4 :119-127.
- **Guillemin C., Roux J., (1992).** La pollution des eaux souterraines. Manuels et Méthodes n° 23, éd. BRGM, 1-25
- **H. Simpson, Ph. D., (2015).** Les eaux souterraines - Une ressource rurale importante, Les puits d'eau privés en milieu rural. Fiche technique.
- **Haddou M., (2010).** Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène : procédés fenton, photo-fenton et photo-catalyse. Thèse doctorat. Université TOULOUSE III - PAUL SABATIER. France. P196
- **Hade A., (2007).** Nos lacs : Les connaître pour mieux les protéger, Edition Fides, Bibliothèque national du Québec, Canada, 27p.
- **Hakmi A., (2006).** Traitement de l'eau de source Bousfer Oran, Mémoire de licence traitement des eaux, Université des Sciences et de la Technologie, Oran, 48 p.
- **Hamed M., Guettache A., Bouamer L., (2012).** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire de Master. Université de Bechar. 5 -10-13-134p.
- **Harvey, P. J., Handley H. K., Taylor M. P, (2015).** Identification of the sources of metal (lead) contamination in drinking waters in north-eastern Tasmania using lead isotopic compositions. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(16), 12276-12288.
- **Hem J. D., (1985).** Study and interpretation of chemical characteristic of natural water. 3rd Edition. University of Virginia, United States of Geological Survey Water-Supply. Paper 2254 Washington, DC, USA. 263p.
- **Henri L., (2012).** L'eau Potable, Édition réimprimée, 190 p.
- **Henri R., (1990).** « Fondement théorique du traitement chimique des eaux » vol. I et II, technique et documentation, Lavoisier, Paris (1990)
- **Himmi N., Fekhaoui M., Foutlane A., Bourchic H., El-Mmaroufy M., Benazzout T., Hasnaoui M., (2003).** Relazione plankton parametric fisici chimici in un bacino di maturazione (lagunamista BeniSlimane – Morocco. *Rivista Di Idrobiologia*. Università di Perugia, Dipartimento di Biologia Animale ed ecologia laboratorio Di Idrobiologia "G.B. Grassi", 110–111p
- **Hordé P., (2014).** Gastro-entérite aiguë : Symptômes et traitement, santé médecine, P19.
- **Institut Pasteur D'Algérie (I.P.A), (2006).** Cours d'Hygiène et de Microbiologie des Eaux. Microbiologie Des Eaux De Boissons. P7-8-9-12-19-20-22-34-35
- **I.S.O., (1993).** Qualité de l'eau. NA 2364, ISO 9964/3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, 20 p.
- **Janah Y., Ait Nouh F., Kettab A., (2017).** Les techniques de dessalement et les énergies renouvelables, p1
- **Jamai N., Kouider A. F., Halilem F., (2010).** La fièvre typhoïde, mémoire de fin d'étude, Université Abou Bar Belkaïed, Faculté de médecine, Département de Pharmacie, Tlemcen, 23p.
- **Jean L.C., (2002).** La dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau, Edition. Ministère de l'agriculture et de la pêche, Direction de l'espace rural et de la forêt, 22p

- **John P., Donald A., (2010).** Microbiologie, 3ème Édition, 1216 p
- **Kaci S., (2005).** Contribution à l'étude des potentialités de l'apiculture en milieu oasien : cas de la wilaya de Ghardaïa Mém. d'Ing. d'Etat. en Agr. Saha., Dpt des Science Agronomiques, U.K.M. - Ouargla, 144 p.
- **Karpoff R., (1952).** Observation préliminaire sur l'hydrologie du Bas-Sahara. Congrès Géol. Intern. Session d'Alger, n.19, p.201-231.
- **Khadraoui, A., (2010).** Sols et hydraulique agricole dans les oasis algériens. Office des publications universitaires. Algérie. 311p.
- **El-Amrani k., (2007).** La pollution de l'eau et ses impacts. Rapport. P36.
- **Khelili .R, Lazali (2015).** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla)
- **Kirkpatrick k., Fleming E ., (2008).** La qualité de l'eau, ROSS TECH 07/47, 12p
- **Koltz F., (2010).** L'eau, la vie et la mort. Ed. Springer Verlag. 4:77.
- **Kouidri Z., (2006).** Etude et traitement de l'eau du BARRAGE DJORF- ELTOR de la wilaya Bechar par filtration sur sables. Mémoire de Magister en Eau et environnement. Université Hassiba Benbouaali de chlef, p13
- **Labres et Mouffok F., (2008).** Le cours national d'hygiène et de microbiologie des eaux de boisson. Manuel des travaux pratique des eaux. Institut Pasteur d'Algérie. 53p
- **Ladjel S., (2009).** Contrôle des paramètres physico-chimiques et bactériologiques d'une eau de consommation. Les cahiers techniques du stage T 7. Centre de formation en métiers de l'eau. Tizi Ouzou. 101 p.
- **Laferriere M., Nadeau A., Malenfant G., (1995).** La contamination par les nitrates : Prévention des risques à la santé, P38.
- **Lagnika M., Ibikounle M ., Montcho J.C., Wotto V.D., Sakiti N.G., (2014).** Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'ouest), Journal of Applied Biosciences, N°79, PP:6887– 6897.
- **Lepeltier S., (2005).** Un bon état écologique des eaux.
- **Langevin, J., Lefebvre, R., Toutant, C., (2000).** Histoire d'eaux : tout ce qu'il faut savoir sur l'eau et l'hygiène publique, 2e édition, Berger, Canada.p 9-13.
- **Larry M. Bush , MD, FACP, Charles E., (2020).** Infections bactériennes : bactéries gram négatives. shigellose. Schmidt College of Medicine, Florida Atlantic University.
- **Laurence M., (2003).** Réduire le plomb dans l'eau de robinet : enjeux, réglementation, actions, Direction de l'eau, Direction générale de la santé, 26p.
- **Lebleu N., (2007).** Désinfection des eaux par procédés membranaires, étude des mécanismes de transfert des bactéries: génie des procédés et de l'environnement thèse de doctorat, Université de Toulouse, p.259
- **Madani Djamila., (2008).** Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone a déficit hydrique. Mémoie de magistere. Université de Batna
- **Madani T. A. A., Kabani A., Orr P., Nicolle L., (1999).** Enterococcal bacteremia in atertiary care centre in Winnipeg, Canadian Journal of Infectious Diseases, Vol 10, PP : 57-63
- **Mahamat . B, Beskri. A., (2010).** Caractéristique physico-chimique des eaux souterraines dans la plaine de Khemis Miliana, Mémoire fin d'étude. Centre université de Khemis Miliana
- **Masschelein W.J., (1996).** Processus unitaire du traitement de l'eau potable, Edition CEBE, DOC spilliége, PP : 181-345
- **Matthess G. G. Mijnbouw., (1994).** 53, 194. -In Forstner U ETWittmann GTW Metal pollution in *the Aquatic Environment*, 355-359).
- **Mens et Derouane, (2000).** État des nappes de l'eau souterraine de Wallonie

- **Mercier J. (2000).** Le grande livre de l'eau. Edition : renaissance du livre (la).ISBN : 28046 0341-5.183P
- **Mercier J., (2000).** Le grand livre de l'eau, Edition: La reconnaissance du livre, Collecte art de vivre, P 91.
- **Merouani M. et Bouguedah A., (2013).** Etude de la pollution chimique et la vulnérabilité alla pollution des eaux souterraines de la cuvette d'OUARGLA. Mémoire master. Université Kasdi Marbah Ouargla. P59
- **Monique H. (1991).** Les eaux naturelles et les eaux de consommation saint Laurent. Institut national de la recherche scientifique, Université Du QUÉBEC.
- **Morabbi A et Souabni O., (2013).** Caractérisation de la qualité des ressources en eau dans le sous bassin Ksob (Région d'Essaouira, Maroc). Mémoire de licence. Université cadi ayyad, 27-28 p.
- **Morris R.D., (1995).** Drinking water and cancer, Environmental Health Perspectives, 103(suppl8), PP: 225–231.
- **Mourey V. Vernoux J.F., (2000).** Les risques pesant sur les nappes d'eau souterraine d'Ile- de-France, Annales des mines, PP : 32-40.
- **Mutin G, (1977).** La Mitidja, décolonisation et espace géographique. Ed. Office Publ. Univ., Alger, 606 p.
- **Narasimha, R. C., S. V. Dorairaju, R. M. Bujagendra, and Chalapathi P. V., (2014).** Statistical Analysis of Drinking Water Quality and Its Impact on Human Health in Chandragiri, near Tirupati, India. View. <http://www.eco-web.com/edi/111219.html>
- **Nouayti N., Khattach D., Hilali M., (2015).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc), Journal de Matériel et Science de l'Environnement, Vol 6, N° 4, PP : 1068-1081.
- **Nouveau-Brunswick, Canada., (2020).** Environnement et Gouvernements locaux. Environnement. Eau. Notions élémentaires sur les puits d'eau. <https://www.electionsnb.ca/content/gnb/fr/ministeres/egl/environnement/content/eau.html>
- **Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage (OFEFP), (2003).** L'eau souterraine, Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication, 31p.
- **Organisation mondiale de la santé (OMS), (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, 1050 p.
- **Organisation mondiale de la santé (OMS), (2004).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol 1. Directives, Ed., Genève, 110 p.
- **Oubagha Noura, (2011).** Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique. Mémoire magister. Université MOULOUD MAMMERI.TIZI OUZOU. P151.
- **Oulad Heddar M., Halilat., Kraimat M., (2018).** Evaluation de la sensibilité à l'ensablement par l'approche medalus dans la région de ghardaïa (algérie). 51-25p
- **PAVARD C., (1975).** Lumière du M'Zab. Delroisse. Paris. 67p
- **Peck H.D., (1970).** Sulphur requirements and metabolism of microorganisms. Proceedings of a symposium on sulphur in nutrium. D.H. muth & J.E. oldfields. Ari Publishing Co., Westpost, CT.
- **Pierre A., (2014).** Poliomyélite. Médecine tropicale .Diplôme de médecine tropicale des pavas de l'océan indien. Article. P9.
- **Potelom J.L et Zysman K., (1998).** Le guide des analyses de l'eau potable. Edition de la Lettre du cadre territorial, Paris : pp. 89-119.

- **Queneau P., Et Hubert J., (2009).** Place des eaux minérales dans l'alimentation, Rapport de l'académie national de médecine, Société française de l'hydrologie et climatologie médicale, France, PP : 175-2
- **Quevauviller P., (2010).** Protection des eaux souterraines, législation européenne et avancées scientifiques. Ed TEC&DOC. Paris. 427p.
- **Rejsek F., (2002) :** Analyse des eaux- Aspects réglementaires et techniques, biologie technique CRDP d'aquitaine p : 358-360
- **Remini B., (2010).** La problématique de l'eau en Algérie, Larhyss Journal, N° 08, PP : 27-46.
- **Rodier J., (1996).** L'analyse De L'eau ; Eaux Naturelles, Eaux Résiduelles, Eaux De Mer. 8ème édition. Dunod. 1383 p
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., (2005).** L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats. 8ème édition. Dunod, Paris, 1383-1384p
- **Rodier J., Legube B., Merlet N., Brunet R., Mialocq J C., Leroy P., Houssin M., Lavison G., Bechemin C., Vincent M., Rebouillon P., Moulin L., Chomodé P., Dujardin P., Gosselin S., Seux R., Almardini F., (2009) .** L'analyse de l'eau. 9ème Ed. Dunod. France. p50-337-408-1511-1579
- **Rogeaux O., (1991).** Fièvre typhoïde, Association Tokombéré, Développement et Santé, n°91, 25p
- **Roux M., (1987).** Office International De L'eau: L'analyse Biologique De L'eau. *TEC & DOC*. Paris. 229p
- **Roux M., (2003).** TP de microbiologie : Analyses de l'eau .Novello Célia. (3). 1-9
- **Saadali B., (2007).** Etude de la qualité des eaux de sources issues du massif dunaire de Bouteldja (Algérie extrême Nord oriental), Mémoire de magister en géologie, Géosciences, faculté des sciences de la terre, département de géologie, Université Badji Mokhtar-Annaba, 110p.
- **Sari H., (2014).** Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar (Tlemcen), Mémoire de Master en sciences des aliments, Université Abou-BekrBelkaid Tlemcen ,59p.
- **Savary P., (2010).** Guide des analyses de la qualité de l'eau, territorial édition, Voiron, PP : 10-179
- **Service de l'Eau (SEVESC), (2013).** Qualité de l'eau potable en sortie de l'usine de traitement d'eau potable de Versailles et Saint Cloud, 11p.
- **Slimani R., (2006).** Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région d'Ouargla : cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mém Magistère. Université Kasdi Merbah Ouargla. 95p.
- **Tardat H.M., (1992).** Chimie Des Eaux, 2ème Edition. Les éditions du griffon D'Argile, pp 213-215.
- **Thomas G. Boyce , M.D. M.P.H., (2019).** Gastro-entérite. University of North Carolina School of Medicine.
- **Tourab H., (2013).** Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines dans la plaine du Haouz, Université des Sciences et Techniques Cadi Ayyad. Thèse de doctorat , Maroc, 82p
- **Tutiempo, (2020).** <https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605660.html>
- **UNESCO, (1972).** Projet ERESS: Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport final United Nations Educational Scientific and Cultural Organisation (UNESCO), Paris.

- **Union Fédérale des Consommateurs-que choisir(UFC), (2017).** Eau du robinet, eau de source, eau minérale, comment choisir. p1
- **Vaé R., (2009).** L'eau de source, la pureté au naturel. *doctissimo* nutrition. Consulté le 6.05.2020.
- **Villagines R., (2003).** Eau, environnement et santé publique. Introduction à l'hydrologie. 2ème Edition : Tec et Doc. Lavoisier. 3p.
- **Ville L., (1872).** Exploration géologique du Béni-M'Zab, du Sahara et de la région des steppes de la province d'Alger. Paris, Imprimerie Nationale, 540p
- **Water action decade (WAD), (2017).** Water pollution from and to agriculture. Agriculture as a water polluter: cause <https://wateractiondecade.org/2017/12/09/water-pollution-from-and-to-agriculture/>
- **WHO (World Health Organization). 2011.** Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva. 564p..
- **Wikiwater. (2012).** Les divers types de puits et de forages. Généralités. 8 février 2012.[https://wikiwater.fr/spip.php?page=spipdf&spipdf=article\\_pdf&id\\_article=28&nom\\_fichier=article28](https://wikiwater.fr/spip.php?page=spipdf&spipdf=article_pdf&id_article=28&nom_fichier=article28)
- **World Health Organization (WHO), (2011).** Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva. 564p
- **World Health Organization, (WHO), (1994).** Directive de qualité de l'eau de boisson. Critères d'hygiène. 2ème édition. Vol 2.Genève.
- **Yombi J.C., Olinga U.N., (2015).** La malaria : aspect clinique et thérapeutique. *Louvain Medical*

*Annexe*

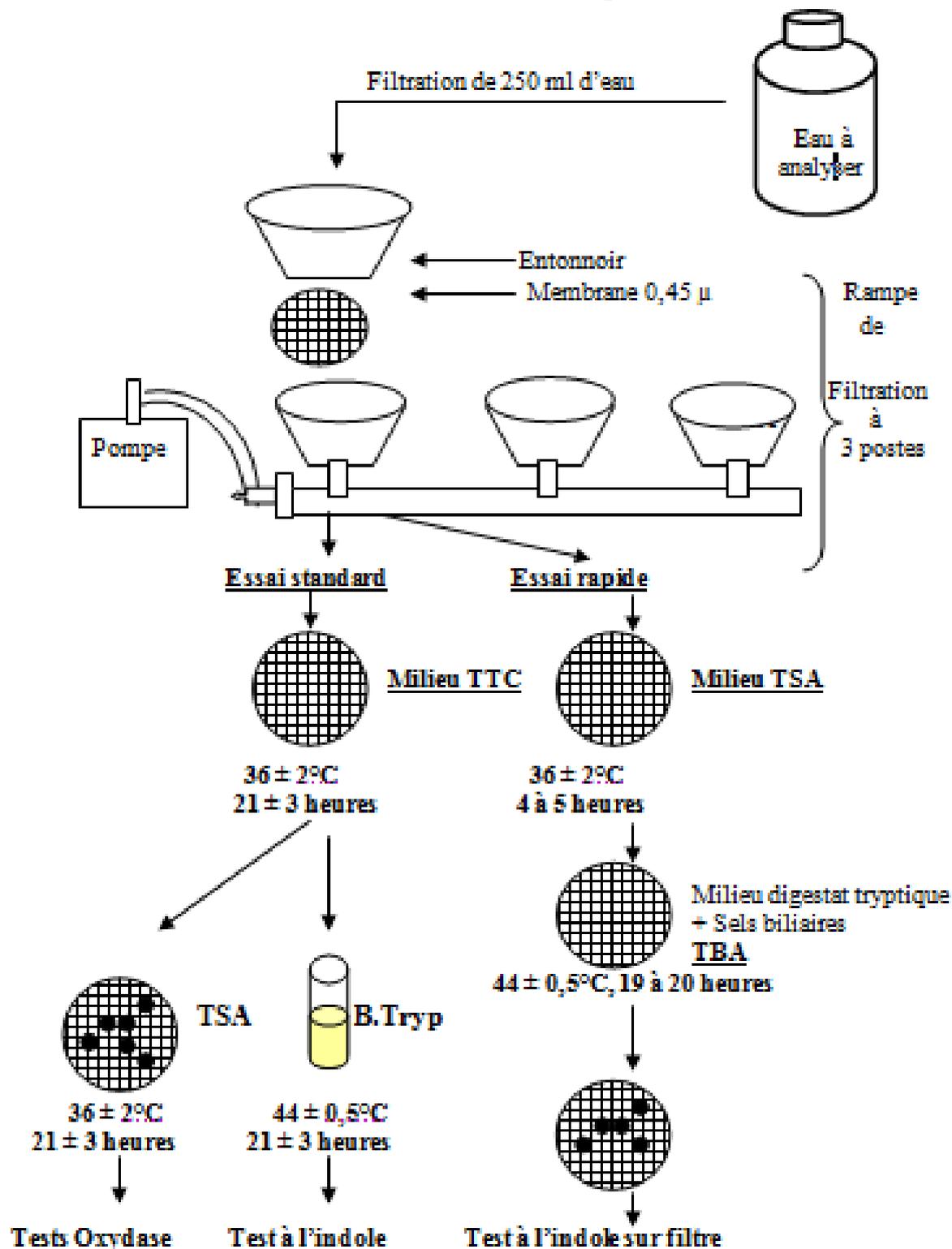
## ANNEXE 1

## Forages

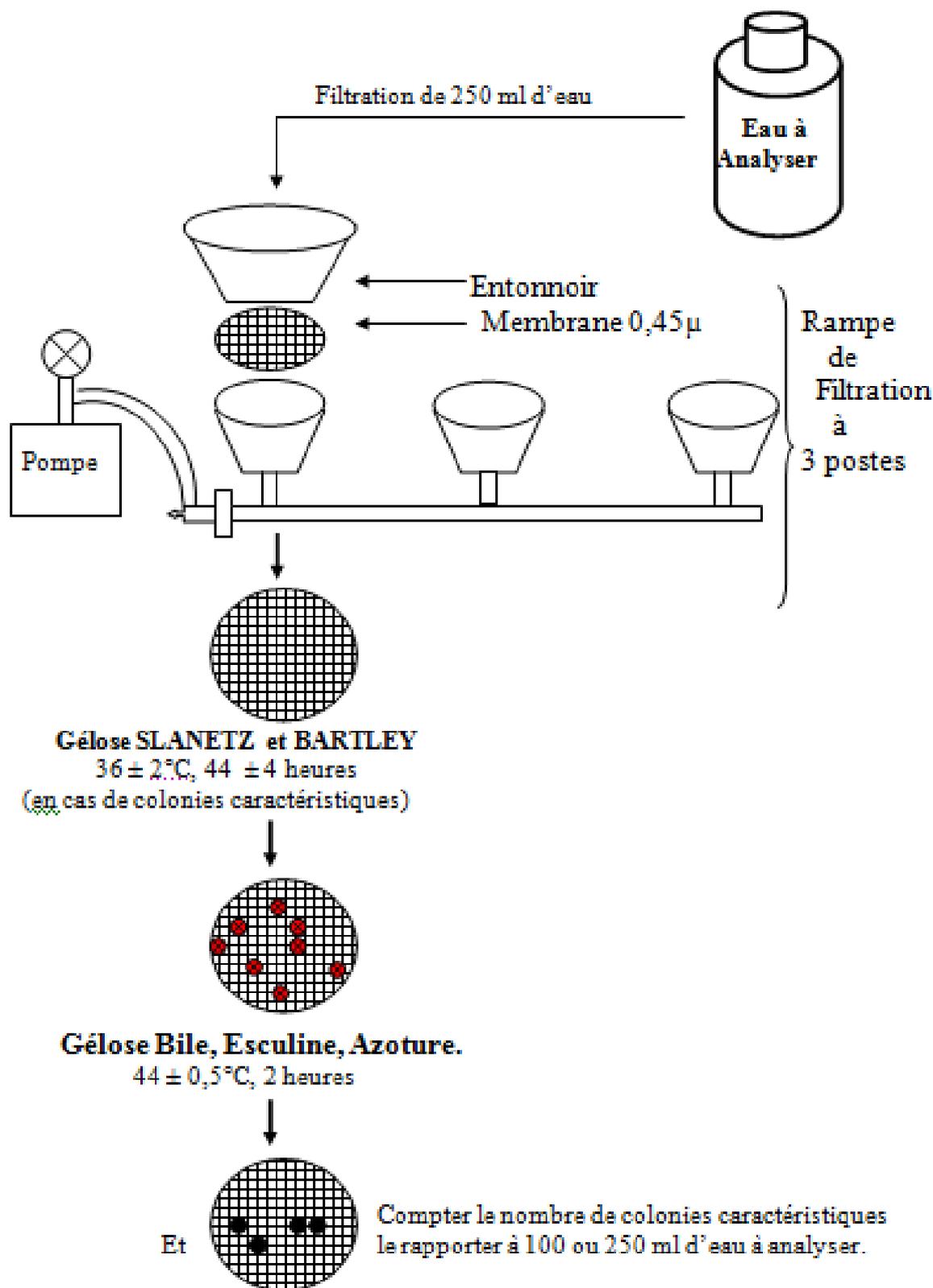
Code	commune	Nom de la chaîne / transfert	Coordonnées lambert de l'ouvrage			Année de réalisation	Année de mise en service	Etat	Débit (L/s)
			x	Y	z				
f1		F.Taouilloi	/	/	/	/	/	/	/
f2	Daïa	F.sidi M'hamed	03 36 45	32 32 00	535	2015	2015	Moyen	25
f3	Daïa	F.laariche	03 36 26	32 32 16	533	2012	2013	Moyen	21,9
f4	Daïa	F.chaâba Hamra	03 35 01	32 34 31	546	1989	1989	Moyen	20,8
f5	Daïa	F.Oum djeder	03 35 34	32 33 33	540	1991	1991	Moyen	20
f6	Daïa	F.Sidi Abdelkader	03 36 37	32 32 59	538	1987	1987	Moyen	25
f7	Daïa	F.Laadira	03 37 31	32 34 24	513	1992	1992	Moyen	21,9
f8	Atteuf	F.Hamrayat	03 45 03	32 29 29	546	1993	1993	Moyen	13,9
f9	Atteuf	F.Atteuf zizratou	03 43 58	32 28 01	550	2010	2010	Moyen	20
f10	Bounoura	F.zone scientifique	03 44 44	32 24 05	510	2016	2019	moyen	16,6
f11	Bounoura	F.zouile	03 42 01	32 29 26	488	1977	1977	moyen	21,9
f12	Bounoura	F.sidi abaz	03 41 36	32 29 02	487	1975	1975	moyen	30
f13	Ghardaïa	F.parc ADE	/	/	/	/	/	/	/
f14	Ghardaïa	F.RTA	03 40 09	32 28 53	567	1984	1948	moyen	26,4
f15	Ghardaïa	F.TEM nouveau	03 40 55	32 28 29	548	2013	2013	moyen	13,1
f16	Ghardaïa	F.TEM	03 40 25	32 28 46	575	1996	1996	moyen	22,2
f17	Ghardaïa	F.bouhroua1	/	/	/	/	/	/	/
f18	Ghardaïa	bouhroua fili	/	/	/	/	/	/	/
f19	Ghardaïa	F.bouhroua chaâbet tobi	/	/	/	/	/	/	/
f20	Ghardaïa	F.bouhroua ziedi	/	/	/	/	/	/	/
f21	Ghardaïa	F.bouhroua sonalgaz	/	/	/	/	/	/	/
f22	Ghardaïa	F.bensmara2	03 39 52	32 30 22	514	1997	1997	moyen	23,6
f23	Ghardaïa	F.bensmara1	03 39 51	32 30 22	515	1992	1992	moyen	19,4

## ANNEXE 2

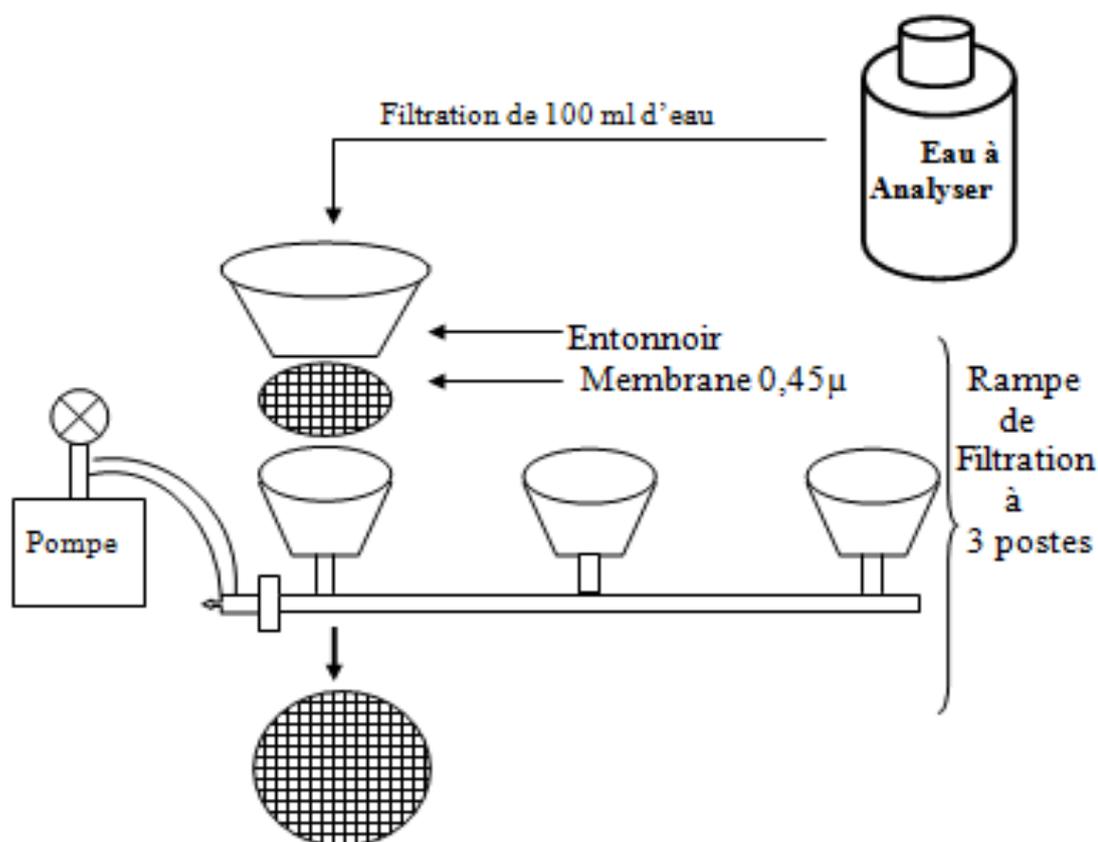
Recherche et dénombrement des Coliforme : méthode par filtration sur membrane.



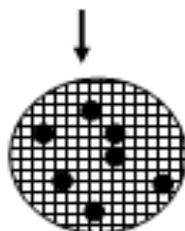
## Recherche et dénombrement des Streptocoque : méthode par filtration sur membrane



**Recherche et dénombrement des Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices :  
Méthode par filtration.**



**Déposer la membrane filtrante 0,2 µ, face quadrillée sur le fond de la boîte**  
**Ajouter environ 18 ml de Gélose TSC, TSN ou VF**  
**Laisser solidifier sur pailleasse**  
**Incuber à  $36 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $20 \pm 4$  h puis  $44 \pm 4$  heures**  
**(en cas de colonies caractéristiques)**



Compter le nombre de colonies caractéristiques  
 et le rapporter à 100 d'eau à analyser.

## ANNEXE 3

## Matériel de laboratoire physico-chimique



Spectrophotomètre U-V



Conductivité-mètre



pH-mètre



Spectrophotomètre à flamme



Dessiccateur (conserver les capsules sèches)



Capsule



Four



bain maré (pour sécher les capsules)



Spectrophotomètre –UV



la hotte

Matériel de laboratoire bactériologique



Flacons en verre



Bec benzène



Etuve



La hotte à flux laminaire



Bain marré (la fusion les milieux de culture)





La ramp de filtration

## Résumé

### Qualité des eaux souterraines destinées à la consommation humaines (Cas d'étude Oued M'Zab Wilaya de Ghardaïa)

Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des forages utilisées comme une eau potable au niveau de la vallée de M'Zab (Wilaya de Ghardaïa) durant la période hivernal de l'année 2020. Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines, afin d'apprécier leur potabilité, et leur impact sur l'homme et l'environnement. Les résultats physico-chimiques d'une manière générale montrent que la qualité de ces eaux est bonne à moyenne sur l'ensemble des forages d'eau prospectés et conformément aux normes de potabilité, excepté certains paramètres dont ces teneurs dépassent les normes tel : la dureté totale, le sodium, le potassium et le sulfate. Tandis que les résultats des analyses microbiologiques des coliformes totaux et fécaux, streptocoque fécaux et Clostridium sulfite-réducteurs (les spores), montrent que ces eaux sont de bonne qualité bactériologiques et ne constitue aucun danger sur la santé des populations consommatrices de ces eaux. L'eau est un élément vitale et nécessaire, pour ça il faut diminuer et éviter tous les comportements qui altèrent la qualité de l'eau et peuvent faire des grands dégâts qui va influencer sur la vie.

**Mots clés :** qualité. physico-chimique. bactériologique. eaux souterraines. M'Zab.

## Abstract

### Quality of groundwater intended for human consumption (Oued M'Zab case study)

Summary Quality of groundwater for human consumption (case study of the M'zab Valley, Ghardaia Province) Our work is concerned with studying the physical, chemical and bacteriological quality of well water used as drinking water in the M'zab Valley (Ghardaia State) during the winter period of 2020. Our systematic approach is to study the physical, chemical and bacteriological quality of groundwater, in order to assess its drinking capacity and its impact on humans and the environment. In general, the physical and chemical results show that the quality of this water is good on average for all water wells that have been explored and conforms to drinking water standards, except for some standards where these contents exceed the standards such as: total hardness, sodium, potassium and sulfate. While the results of microbiological analyzes of total and faecal coliforms, faecal coliforms and Clostridium sulphate-reducing streptococci (germs) were found to be sulfite-reducing, it was found that this water is of good bacteriological quality and does not pose any risk to the health of the population who consume this water. Water is a vital and necessary component. Altering water quality and can cause significant damage that affects life.

**Key words:** quality, physical and chemical, bacteriological, groundwater

## المخلص

### نوعية المياه الجوفية المخصصة للاستهلاك البشري (دراسة حالة واد مزاب)

نوعية المياه الجوفية المخصصة للاستهلاك الآدمي (دراسة حالة واد مزاب ولاية غرداية) يهتم عملنا بدراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لمياه الآبار المستخدمة كماء للشرب في وادي مزاب (ولاية غرداية) خلال فترة الشتاء لعام 2020. يمثل نهجنا المنهجي في دراسة الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية، من أجل تقييم قابليتها للشرب وتأثيرها على الإنسان والبيئة. تظهر النتائج الفيزيائية والكيميائية بشكل عام أن جودة هذه المياه جيدة في المتوسط لجميع آبار المياه التي تم التنقيب عنها وتتوافق مع معايير مياه الشرب، باستثناء بعض المعايير التي تتجاوز فيها هذه المحتويات المعايير مثل: الصلابة الكلية والصوديوم والبوتاسيوم والكبريتات. في حين أن نتائج التحليلات البكتريولوجية القولونية و القولونيات البرازية، العقديات البرازية و كلوستريديوم مخفضات السلفيت، تبين أن هذه المياه ذات جودة بكتريولوجية جيدة ولا تشكل أي خطر على صحة السكان الذين يستهلكون هذه المياه. الماء عنصر حيوي و ضروري، لذلك يجب تقليل وتجنب كل السلوكيات التي تغير جودة المياه ويمكن أن تلحق أضرارًا كبيرة تؤثر على الحياة.

**الكلمات المفتاحية:** الجودة، الفيزيائية و الكيميائية، البكتريولوجية، المياه الجوفية، مزاب.