

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 sciences de la terre  
Département de Biologie

Mémoire présenté en vue de l'obtention d'un diplôme de

## Master

**Domaine** : sciences de la nature et de la vie

**Filière** : écologie et l'environnement

**Spécialité** : sciences de l'environnement

**Présenté Par** : BEGRAMessouda Imane

**TELLI Hayat**

## Thème

**QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET  
BACTERIOLOGIE DES EAUX SOUTERRAINES DE  
LA VALLEE DU M'ZAB -GHARDAIA-**

Soutenu publiquement le : 24 Juin 2018, Devant le jury composé de :

M. KHELLAF Khoudir	Maitre AssistantA	Université Ghardaia	Président
M. BEN SAMAOUNE Youcef	Maitre AssistantA	Université Ghardaia	Co-Encadreur
Melle. BENHEDID HADJIRA	Doctorante	Université Ouargla	Encadreur
Mm. BELABBASSI Warda	Maitre Assistant A	Université Ghardaia	Examinatrice

Année universitaire : 2017/2018



## Remerciement

*Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes, nous souhaitons ici les en remercier.*

*Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreurs BENEHDID HADJIRA » et « BENSEMAOUNE YUCEF ».*

*Nous voudrions également leurs témoigner notre gratitude pour sa patience et son soutien qui nous a été précieux afin de mener notre travail à bon port.*

*Merci*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mr KHELLEAF Khoudir, d'avoir accepter de présider ce jury.*

*Je remercie également Mm. BELABASSI Ouarda qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail et le juger.*

*Qui ont daigné laisser leurs multiples occupations pour se donner la peine d'examiner ce travail, nous leur sommes infiniment reconnaissants. Leurs critiques et suggestions contribuerons certainement à rehausser la valeur scientifique de ce travail.*

*Ce travail de recherche a été réalisé au Laboratoire ADE. J'adresse mes plus sincères remerciements à tous ceux qui y travaillent pour nos avoir accueilli et nous sommes très reconnaissants pour leur soutien permanent pour nous.*

*Je ne saurais oublier l'équipe du laboratoire d'université d'Ouargla Kdsi Merbah.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à tous les professeurs de faculté biologie qui nous ont enseigné et qui par leurs compétences nous ont soutenu dans la poursuite de nos études.*

*On n'oublie pas nos parents pour leur contribution, leur soutien et leur patience. nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire, et qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

*Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.*

*Merci à tous et à toutes.*

# Dédicace

*Je dédie ce travail à*

*Mes familles BEGRA et BOUHAREBE*

*Et en particulier mes parents ♥ qui ont su me comprendre, ont pu m'aider et qui n'ont épargné aucun effort pour mon satisfaire et surtout a ma mère.*

*Mes frères Aissa , Youcef et Nouar*

*Ma sœur Ibteessame*

*Je dédie ce travail particulièrement à Amal, Asma, Hadjer, Rachid et Walid*

*La promotion d'écologie d'environnement*

*Tous les amis qui nous ont connus de près ou de loin.*



# Dédicace

*Je dédie ce travail à*

*Mes familles TELLI, GHARIGA*

*Et en particulier mes parents ♥ qui ont su me comprendre, ont pu m'aider et qui n'ont épargné aucun effort pour mon satisfaire.*

*Mes frères Yahia, Ahmed et Mohamed Nadir*

*Mes sœurs Nacira et Ibtesseme*

*Je dédie ce travail particulièrement à NourElHouda, Asma et Brahime*

*La promotion d'écologie d'environnement*

*Tous les amis qui nous ont connus de près ou de loin.*



## Liste des tableaux

	Titres	pages
<b>Tableau 1</b>	Normes Algériennes l'O.M.S. et Françaises de potabilité des eaux de consommation	10
<b>Tableau 2</b>	Qualité microbiologique de l'eau de boisson	11
<b>Tableau 3</b>	Classification de l'eau basée sur la conductivité électrique, selon DURAND, 1983.	11
<b>Tableau 4</b>	S.A.R. des eaux et risque d'alcalinisation des sols (SERVANT, 1975)	12
<b>Tableau 5</b>	Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation	12
<b>Tableau 6</b>	Valeurs seuils applicables aux eaux souterraines (J.O.U.E. 2006)	13
<b>Tableau 7</b>	l'évaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (2007 -2016).	21
<b>Tableau 8</b>	Durée d'insolation (en heures)	22

# Tableau des figures

	Titres	pages
<b>Figure 1</b>	Situation de la wilaya de Ghardaïa	15
<b>Figure 2</b>	Découpage de la wilaya de Ghardaïa.	16
<b>Figure 3</b>	<i>Chebkade</i> la vallée du M'Zab.	17
<b>Figure 4</b>	Evolution annuelle des températures (2007-2016)	18
<b>Figure 5</b>	Variation des précipitations (2007 et 2016)	19
<b>Figure 6</b>	Histogramme D'Evaporation moyennes mensuelles (2007-2016).	20
<b>Figure 7</b>	Durée d'insolation (en heures).	22
<b>Figure 8</b>	Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa 2007-2016	23
<b>Figure 9</b>	Bassin versant des oueds de la région du M'Zab (DUBIEF, 1953)	24
<b>Figure 10</b>	Etage bioclimatique de la région de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER	25
<b>Figure 12</b>	Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (A.N.R.H., 2010)	26
<b>Figure 13</b>	Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (A.N.R.H., 2003)	27
<b>Figure 14</b>	Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab d'avril 2008 (BENSAHA et al. 2011)	28
<b>Figure 15</b>	Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab d'avril 2008 (BENSAHA et al., 2011)	30
<b>Figure 16</b>	Approche méthodologique	33
<b>Figure 17</b>	Localisation des puits de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab	32
<b>Figure 18</b>	Localisation des forages de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab	32
<b>Figure 19</b>	Variation du pH dans les eaux de forages.	40
<b>Figure 20</b>	Variation du pH dans les eaux de puits.	40
<b>Figure 21</b>	Variation de la conductivité électrique dans les eaux de forages.	41
<b>Figure 22</b>	Variation de la conductivité électrique dans les eaux de puits.	42
<b>Figure 23</b>	Histogramme des variations de l'ammoniumde forages.	42
<b>Figure 24</b>	Histogramme des variations de l'ammoniumde puits.	43
<b>Figure 25</b>	Variation de la teneur en nitrites dans les eaux de forages.	43
<b>Figure 26</b>	Variation de la teneur en nitrites dans les eaux de puits.	44
<b>Figure 27</b>	Variation de la teneur en Nitrates dans les eaux de forages.	44
<b>Figure 28</b>	Variation de la teneur en Nitrates dans les eaux de puits	45
<b>Figure 29</b>	Variation de la teneur en ortho-Phosphates dans les eaux de forages	45
<b>Figure 30</b>	Variation de la teneur en ortho-Phosphates dans les eaux de puits.	46
<b>Figure 31</b>	Histogramme des variations du fer des forages.	46
<b>Figure 32</b>	Variation de la dureté totale dans les eaux de forages.	47
<b>Figure 33</b>	Variation de la dureté totale dans les eaux de puits.	47
<b>Figure 34</b>	Histogramme de calcium des forages.	48
<b>Figure 35</b>	Histogramme de calcium des puits.	48

<b>Figure 36</b>	Histogramme de magnésium des forages.	50
<b>Figure 37</b>	Histogramme de magnésium des puits.	50
<b>Figure 38</b>	Histogramme de sodium des eaux de forages.	51
<b>Figure 39</b>	Histogramme de sodium des eaux de puits.	51
<b>Figure 40</b>	Histogramme de Potassium des eaux de forages.	52
<b>Figure 41</b>	Histogramme de Potassium des eaux de puits.	52
<b>Figure 42</b>	Histogramme de la concentration de Chlorure des forages.	53
<b>Figure 43</b>	Histogramme de la concentration de Chlorure des puits.	53
<b>Figure 44</b>	Variation des bicarbonates des eaux de forages.	54
<b>Figure 45</b>	Variation des bicarbonates des eaux de puits.	55
<b>Figure 46</b>	Histogramme de la concentration de sulfate des forages.	56
<b>Figure 47</b>	Histogramme de la concentration de sulfate des puits.	56
<b>Figure 48</b>	Variation des Germes dans les eaux de forages.	56
<b>Figure 49</b>	Variation des Germes dans les eaux de puits.	57
<b>Figure 50</b>	Qualité des eaux des forages d'irrigation dans la région d'étude en fonction de la C.E. et du S.A.R.	61
<b>Figure 51</b>	Qualité des eaux des puits d'irrigation dans la région d'étude en fonction de la C.E. et du S.A.R.	61

## *tableau des abréviations*

<b>A.D.E</b>	<b>Algériennes des eaux</b>
<b>A.E.P.</b>	<b>Alimentation en eau potable</b>
<b>A.N.R.H</b>	<b>Agence Nationale des Ressources Hydrauliques</b>
<b>B.C.P.L</b>	<b>Bouillon lactosé au poupre de bromocrésol</b>
<b>C.E</b>	<b>Conductivité électrique (<math>\mu\text{S.cm}^{-1}</math>)</b>
<b>C.E.E</b>	<b>Communauté Economique Européenne</b>
<b>C.M.A</b>	<b>Concentration maximale admissible</b>
<b>C.T</b>	<b>Complexe Terminal</b>
<b>C.I</b>	<b>Continental Intercalaire</b>
<b>Cond</b>	<b>Conductivité</b>
<b>D/C</b>	<b>Double concentration</b>
<b>D.B.O</b>	<b>Demande biochimique en oxygène</b>
<b>D.B.O5</b>	<b>Demande biochimique en oxygène en cinq jours</b>
<b>D.C.O</b>	<b>Demande chimique en oxygène</b>
<b>E. coli</b>	<b>Escherichia Coli</b>
<b>E.D.T.A</b>	<b>Sel dissodique d'acide éthylène diamine tetracétique</b>
<b>E.V.A</b>	<b>Ethyle violet azide</b>
<b>J.O.R.A.</b>	<b>Journal Officiel de la République Algérienne</b>
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Bicarbonates</b>
<b>I.S.O.</b>	<b>International Organisation de Standardisation</b>
<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Kilo mètre carré</b>
<b>m/s</b>	<b>Mètre par seconde</b>
<b>m</b>	<b>Mètre</b>
<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Mètre cube</b>
<b>mg/l</b>	<b>Milligramme par litre.</b>
<b>moy</b>	<b>Moyenne</b>
<b>nm</b>	<b>Nano mètre</b>
<b>N.A.</b>	<b>Norme Algérienne</b>

<b>NH<sub>3</sub></b>	<b>Ammoniaque</b>
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>Ion ammonium</b>
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>Nitrates</b>
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>Nitrites</b>
<b>N.P.P.</b>	<b>Nombre le plus probable</b>
<b>NTU</b>	<b>Unité de Turbidité Néphélométrique</b>
<b>O.M.S</b>	<b>Organisation Mondiale de la Santé</b>
<b>P</b>	<b>Pluviosité</b>
<b>pH</b>	<b>Potentiel hydrogène</b>
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	<b>Ortho-phosphore</b>
<b>S.A.R</b>	<b>Sodium Absorption Ratio</b>
<b>S/C</b>	<b>Simple concentration</b>
<b>T</b>	<b>Température (°C)</b>
<b>T.max</b>	<b>Température maximale (°C)</b>
<b>T.min</b>	<b>Température minimale (°C)</b>
<b>TDS</b>	<b>Taux des Sels Dissous</b>
<b>T.H.</b>	<b>Titre hydrométrie</b>
<b>UCV</b>	<b>Unité de couleur véritable</b>
<b>UFC</b>	<b>Unité formant colonie</b>
<b>μS</b>	<b>Micro-siémens</b>
<b>μS/cm</b>	<b>Micro-siémens par centimètre</b>
<b>%</b>	<b>Pourcentage</b>
<b>°C</b>	<b>Degré Celsius</b>
<b>°F</b>	<b>Degré Fahrenheit</b>

Liste des tableaux.....	i
Liste de figures .....	ii
Liste des annexes.....	iv
Liste des abréviations .....	v

## Tables de matière

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

### Premier partie : synthèse bibliographique

#### Chapitre I : Qualité des eaux

I.1. Généralités sur les eaux.....	3
I.2 .Types des eaux.....	3
2.1. Eaux de surface .....	3
2.2. Eaux souterraines.....	3
2.2.1. Types de nappes.....	4
2.2.1.1. Nappe libre .....	4
2.2.1.2. Nappe semi-captive.....	4
2.2.1.3. Nappe captive.....	4
I.3 .Paramètres de qualité des eaux.....	4
3.1. Paramètresphysico-chimiques.....	4
3.1.1. Température.....	4
3.1.2. Potentiel d'hydrogène .....	5
3.1.3. Conductivité .....	5
3.1.4. Oxygène dissous .....	5
3.1.5. Caractéristiques organoleptique .....	5
3.1.5.1. Couleur .....	5
3.1.5.2. Odeur et saveur.....	6
3.1.5.3. Turbidité.....	6
3.1.6. Substances indésirables.....	6
3.1.6.1. Ammonium .....	6
3.1.6.2. Nitrates.....	6
3.1.6.3. Nitrites.....	7
3.1.6.4. Phosphates.....	7
3.1.6.5. Demande biochimique en oxygène .....	7
3.1.6.6. Demande chimique en oxygène .....	7
3.1.7. Minéralisation globale .....	8
3.1.8. Métaux lourds.....	8
3.2. Paramètres microbiologiques.....	8
3.2.1. Virus .....	8
3.2.2. Bactéries.....	9
3.2.3. Protozoaires.....	9
3.2.4. Helminthes.....	9
4. Normes d'utilisation des eaux.....	9
4.1. Normes de potabilité .....	9
4.1.1. Réglementation Algérienne .....	10
4.2. Classification des eaux d'irrigation .....	11
4.2.1. Evaluation du risque de salinité .....	11
4.2.2. Evaluation du risque d'alcalinité .....	12
4.3. Environnemental.....	13

4.3.1. Normes de la qualité des eaux souterraines .....	13
5. Pollution de l'eau .....	14
6. Origines des pollutions des eaux .....	14
7. Pollution des eaux souterraines .....	14

## **Deuxième partie : Matériel et méthodes**

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

1. Choix de la zone d'étude .....	15
2. Présentation de la vallée du M'Zab.....	15
2.1. Données géographiques.....	15
3. Climat.....	17
3.1. Données climatiques de la vallée du M'Zab.....	18
3.1.1. Température d'air.....	19
3.1.2. Précipitation .....	20
3.1.3. Humidité relative de l'air.....	20
3.1.4. Vents.....	21
3.1.5. Evaporation.....	21
3.1.6. Insolation .....	23
3.2. Synthèse climatique.....	23
3.2.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	24
3.2.2. Climagramme d'EMBERGER.....	24
4. Hydrologie.....	25
4.1. Géologie.....	26
4.2. Hydrogéologie.....	29
4.2.1. Nappe phréatique.....	29
4.2.2. Nappe du Continental Intercalaire.....	30
4.2.3. Nappe du Complexe Terminal.....	31

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

1. Approche méthodologique .....	33
1.1. Etude des eaux.....	34
1.1.1. Localisation des forages et des puits.....	34
1.2. Etude physico-chimique.....	35
1.3. Etude bactériologique.....	35
2. Méthodes d'analyses .....	32
2.1. Etude hydro-chimique .....	36
2.1.1. pH .....	36
2.1.2. Conductivité électrique .....	36
2.1.3. Turbidité .....	36
2.1.4. Eléments majeurs .....	36
2.1.4.1. Titre hydrométrie .....	36
2.1.4.2. Calcium .....	36
2.1.4.3. Magnésium.....	36
2.1.4.4. Sodium et potassium.....	36
2.1.4.5. Chlorures.....	37
2.1.4.6. Sulfates.....	37
2.1.4.7. T.H. (durité totale) .....	37
2.1.4.8. Bicarbonates.....	37

2.1.5. Paramètres de la pollution.....	37
2.1.5.1. Ammonium.....	37
2.1.5.2. Nitrites.....	37
2.1.5.3. Nitrates.....	38
2.1.5.4. Phosphore.....	38
2.1.5.5. Orthophosphates.....	38
2.1.6. Fer.....	38
2.2. Etude bactériologique.....	38
2.2.1. Recherché des coliformestotaux et fécaux.....	38
2.2.2. Recherché des streptocoquestotaux et fécaux.....	39

## **Troisième partie : Résultats et Discussions**

### **Chapitre IV : Résultats et Discussions**

1. Paramètres physico-chimiques.....	40
1.1 pH.....	40
1.2. Conductivité électrique.....	41
2. Paramètre de pollution.....	42
2.1. Ammonium.....	42
2.2. Nitrite.....	43
2.3. Nitrates.....	44
2.4. Ortho-Phosphate.....	45
2.5. Fer.....	46
3. Minéralisation globale.....	47
3.1. Dureté totale.....	47
3.2. Calcium.....	48
3.4. Magnésium.....	49
3.5. Sodium.....	50
3.6. Potassium.....	52
3.7. Chlorure.....	53
3.8. Bicarbonates.....	54
3.9. Sulfate.....	55
4. Paramètres bactériologiques.....	56
4.1. Coliformes totaux.....	57
4.2. Escherichia coli.....	58
4.3. Streptocoques fécaux.....	58
5. Aptitude des eaux à l'irrigation.....	59
5.1. Risqué de salinisation.....	59
5.2. Risqué d'alcalinisation.....	60
5.3. Classification des eaux d'irrigation.....	60
<b>Conclusion générale</b> .....	62
<b>Références bibliographiques</b> .....	65
<b>Annexe</b> .....	74

# Introduction générale

---

L'eau est un élément indispensable à la vie humaine. L'eau peut être rare à certains endroits et de mauvaise qualité à d'autres. La qualité des eaux dans le monde a connu ces dernières années une grande détérioration à cause des rejets industriels non contrôlés, de l'utilisation intensive des intrants chimiques dans l'agriculture et de la mobilisation désordonnée des ressources en eau qui produisent une modification chimique de l'eau et la rendant impropre aux usages souhaités (BENZAYET, 2010).

Partout dans le monde, la pression sur les ressources en eau et en particulier sur les ressources en eau souterraines est à la hausse, principalement en raison de la demande croissante (NOUAYTI *et al.*, 2015).

L'eau captée peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, comme des microorganismes pathogènes, des substances indésirables ou même des substances toxiques (FAKIHLANJRIET *et al.*, 2014).

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).

Dans la vallée du M'Zab, la principale source de satisfaction de la demande en eau est d'eau souterraines du fait de l'aridité du climat et de l'exploitation relativement facile de cette ressource. Mais, la croissance démographique et la modernisation de l'agriculture entraînent des grands problèmes de disponibilité de la ressource tant quantitative que qualitative (BENZAYET, 2010).

Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines au niveau de la région du M'Zab durant période hivernale, de dégager éventuellement les causes de la pollution de ces eaux et de faire des propositions aux consommateurs de telle manière à observer des attitudes garantissant la qualité de l'eau.

# Introduction générale

---

Ce manuscrit est divisé en trois parties :

- La première partie est consacrée pour une synthèse bibliographique, s'intéressant à la qualité des eaux ;
- La deuxième partie montre le Matériel et les méthodes, présente la région d'étude, la méthodologie d'étude et les différentes méthodes d'analyses ;
- La Troisième partie traite les résultats et discussions ;
- Enfin, nous tirons une conclusion et nous proposons quelques perspectives.

## 1. Généralités sur les eaux

L'eau est très présente sur notre planète, ainsi vue de l'espace, la terre apparaît bleue car les océans recouvrant près des trois quarts de la surface terrestre (70%). La totalité de l'eau sur terre représente un volume de 1,4 milliard de km<sup>3</sup> sous forme liquide, solide ou gazeuse. Cependant, la majeure partie de l'eau (97 %) est contenue dans les océans et est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'homme (C.I.E., 2013).

Selon R.P.D.E. (2007), l'eau douce n'en représente que 2,6 % et concerne :

- pour la majeure partie, les glaciers de montagne, les inlandsis du Groenland et de l'Antarctique (près de 2 %)
- les eaux douces souterraines (moins de 1%, la majorité des eaux souterraines est salée, donc ne sont pas douces)
- les eaux de surface (cours d'eau, sols gelés, marécages et lacs d'eau douce : (0,03%)
- l'atmosphère (0,001%)
- les êtres vivants (0,0001%)

La moitié de cette eau douce représente l'eau disponible pour l'usage humain avec seulement 0,3% du volume d'eau de la planète, soit 4 millions de km<sup>3</sup>.

## 2. Types des eaux

### 2.1. Eaux de surface

Elles regroupent toutes les eaux provenant d'un mélange d'écoulements souterrains et des eaux de pluie qui coulent ou qui stagnent à la surface du sol. Elles comprennent les eaux des grands coure d'eaux, des étangs et des lacs, ainsi que des petits ruisseaux alimentés par des sources et qui recueillent les eaux de ruissellement des bassins versants (AHONON,2011 ; BOUARI et *al.*,2005). Les écoulements de surface constituent la cause essentielle de la turbidité et de la teneur en matières organiques, des débris d'origine végétale ou animale, ainsi que des micro-organismes pathogènes des eaux de surface. C'est ainsi que les eaux de surface font plus objets des pollutions physico-chimiques et microbiennes (AHONON,2011).

### 2.2. Eaux souterraines

Les eaux souterraines constituent 20% des réserves d'eaux soit environ 1000 millions de m<sup>3</sup>, leur origine est due l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité

et de sa structure géologique. Elles sont généralement d'excellente qualité physicochimique et bactériologique, elles se réunissent en nappes (RODIER, 1997).

### **2.2.1. Types de nappes**

#### **2.2.1.1. Nappe libre**

Les eaux de cette nappe ne sont pas maintenues sous pression par un toit moins perméable que la formation qui la contient (ARJEN, 2010). Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement (ARJEN, 2010 ; MOKEDDEM, OUDDANE, 2005 ; et MEROUANI, BOUGUEDAH, 2013).

Une nappe phréatique couramment exploitées en milieu rural par les puits, Malheureusement l'infiltration est importante et la nappe est souvent contaminée (JEAN-CLAUDE, 1983).

#### **2.2.1.2. Nappe semi-captive**

Elle appartient à un aquifère dont le toit ou /et le substratum est constitué par une formation semi-perméable celle-ci permet des échanges d'eau avec les aquifères situés au-dessus ou en-dessous appelés drainante (MUSY et HIGY, 2004 ; DETAY, 1997).

#### **2.2.1.3. 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 (AYAD, 2016 ; RODIER, 1996).

## **3. Paramètres de qualité des eaux**

### **3.1. Paramètres physico-chimiques**

L'étude du chimisme des eaux a pour but d'identifier les faciès chimiques des eaux, leur qualité, le degré de potabilité, ainsi que leur aptitude à l'irrigation. Elle permet aussi de suivre l'évolution spatiale des paramètres physico-chimiques.

#### **3.1.1. Température**

La température des eaux souterraines est relativement constante toute l'année, par contre celle des eaux superficielles est très variable selon les saisons et peut passer de 2°C à 30°C. La

diminution de la température entraîne la diminution de l'efficacité des traitements dont la désinfection et entraîne aussi l'augmentation de la viscosité de l'eau (SAVARY, 2010).

L'augmentation de la température a diverses conséquences comme : la croissance bactérienne, les problèmes de saveur, de couleur, corrosion (SAVARY, 2010 ; MOUSSA, 2005 ; O.M.S., 2009).

### **3.1.2. Potentiel d'hydrogène**

Le potentiel d'hydrogène (pH) correspond à la concentration d'ions hydrogène. Il mesure l'acidité ou la basicité d'une eau. Le pH interfère avec d'autres paramètres de la qualité dans les complexes réactions chimiques : dureté, alcalinité, turbidité, conductivité (SAVARY, 2010).

### **3.1.3. Conductivité électrique**

La conductivité électrique (C.E.) d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de  $1\text{cm}^2$  de surface et séparées l'une de l'autre de 1cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique (RODIER et *al.*, 2009).

Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation (MENS et DEROUANE, 2000).

### **3.1.4. Oxygène dissous**

La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau. Les eaux superficielles peuvent en contenir des quantités relativement importantes proches de la saturation. Les eaux profondes n'en contiennent le plus souvent que quelques milligrammes par litre (RODIER et *al.*, 2009).

### **3.1.5. Caractéristiques organoleptiques**

#### **3.1.5.1. Couleur**

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à  $0,45\ \mu\text{m}$ . Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (RODIER et *al.*, 2009).

Elle représentera un indicateur de pollution si elle dépasse l'équivalent de 15 mg/1 de platine cobalt (LEFÈVRE, 1991).

### 3.1.5.2. Odeur et saveur

L'odeur d'une eau est généralement un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition en quantité souvent si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, les déceler (MOKEDDEM et OUDDANE, 2005). Toute eau possède une certaine saveur qui lui est propre et qui est due aux sels et aux gaz dissous. Si elle renferme une trop grande quantité de chlore, l'eau aura une saveur Saumâtre, si elle contient de forte quantité de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer (BOUZIANI, 2000).

### 3.1.5.3. 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. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace (RODIER *et al.*, 2009).

## 3.1.6. Substances indésirables

### 3.1.6.1. 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 ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) (GAUJOUR, 1995).

En ce qui concerne la toxicité de l'ammoniaque, il est reconnu que ce n'est pas la forme ammoniaque ionisée qui est toxique, mais celle non ionisée dont la proportion dépend du PH et de la température (RODIER, 1996).

### 3.1.6.2. Nitrates

Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) constituent le stade final d'oxydation de l'azote organique. Les nitrates sont très répandus dans la plupart des eaux et dans les plantes où ils sont nécessaires à la synthèse des végétaux. Soluble dans l'eau, ils se retrouvent naturellement en faible concentration dans les eaux souterraines et superficielles. Dans les eaux, la quantité des nitrates maximale admissible est fixée de 50 mg/L (COULAIS, 2002).

### 3.1.6.3.Nitrites

Les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, soit d'une réduction des nitrites sous l'influence d'une action dénitrifiant.

Les nitrites sont répons dans le sol, dans les eaux et dans les plantes, mais en quantité relativement faibles. Les nitrites non liées à une pollution, se retrouvent parfois dans les eaux pauvres en oxygène. Leur présence a également été signalée dans les eaux de pluie et dans celles provenant de la fonte des neiges (SAVARY, 2010).

### 3.1.6.4.Phosphates

Le phosphore (P) est un élément assez rare mais indispensable à tout être vivant. Le phosphate est obtenu dans la nature à partir de la décomposition des cellules mortes qui sont minéralisées par les micro-organismes. Sa présence dans l'eau n'a pas de conséquence sanitaire. Par contre, elle favorise la croissance des algues dès que l'eau est exposée à la lumière par des phénomènes de l'eutrophisation. Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon. (SAMAKE, 2002).

### 3.1.6.5.Demande biochimique en oxygène

Exprimée en mg d'oxygène par litre. Elle exprime la quantité de matières organiques biodégradables présente dans l'eau. Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour mesurer ce paramètre, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommé au bout de 5 jours. C'est la D.B.O.<sub>5</sub>, Demande biochimique en oxygène sur 5 jours ; (mesure la consommation d'O<sub>2</sub> par les bactéries d'une masse d'eau conservée dans l'obscurité en tube émétrique fermé, à 20°C, pendant 5 jours) (RADOUX, 1995).

### 3.1.6.6. Demande chimique en oxygène

La Demande Chimique en Oxygène (D.C.O.) renseigne sur la consommation en oxygène d'une eau pour l'oxydation de presque toutes les substances organiques solubles dans l'eau, à l'exception d'une série de composés azotés et d'hydrocarbures à peine soluble dans l'eau (DEDJELLY, BENDRISSOU, 2011).

### 3.1.7. Minéralisation globale

La minéralisation globale correspond à la concentration en sels minéraux dissous (DEGREMONT, 1990).

La minéralisation de l'eau est en fonction de la géologie des terrains traversés. D'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles.

Les eaux très minéralisées, du fait de leur teneur en sels dissous, semblent bien contribuer à l'homéostasie de l'homme et surtout de l'enfant; cependant, elles peuvent poser des problèmes endocriniens très complexes (RODIER *et al.*, 2005).

Il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (RODIER *et al.*, 2009).

### 3.1.8. Métaux lourds

Dans le milieu aquatique, les métaux lourds peuvent se présenter sous diverse formes physiques (dissoutes, particulaires) et chimiques (minérales, organiques). Afin d'évaluer la biodisponibilité du métal, il est nécessaire de connaître sa spéciation c'est-à-dire sa distribution vis-à-vis de ses différentes formes physico-chimique.

Parmi les métaux lourds très toxiques que l'on peut trouver accidentellement dans l'eau, on distingue : le plomb, le cadmium, le cyanure, l'arsenic, le chrome, le nickel, l'antimoine, le sélénium (VILAGINES, 2003).

Les principales sources émettrices de ces métaux lourds sont les industries d'extractions minières et les fonderies, les industries de transformation (métallurgie, galvanoplastie...), les usines d'incinérations et le secteur agricole (les engrais phosphatés) (BOUZIANI, 2000).

## 3.2. Paramètres microbiologiques

L'eau destinée à l'alimentation humaine contient une multitude de microorganismes pathogènes, agents d'infections humaines redoutables (HASLAY et LECELER, 1993).

### 3.2.1. Virus

Les virus constituent l'entité biologique la plus abondante dans les écosystèmes aquatiques. Ils présentent un intérêt direct en santé humaine et capables de provoquer des infections chez l'homme (SCHWARTZBROD, 2000).

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte (BRISAUD et FABY, 1997 ; BELAID, 2010).

### 3.2.2. Bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10  $\mu\text{m}$  (ASANO, 1998). Certaines d'entre elles peuvent être rencontrées sous forme de spores dans les conditions défavorables (VANDERMEERSCH, 2006).

### 3.2.3. Protozoaires

Les protozoaires sont des agents unicellulaires du règne animal qui vivent aux dépens de son hôte. Ils ont une origine humaine et/ou animale, et sont retrouvés sous une forme de résistance appelée kyste, oocyste, spore. Il suffit probablement la présence de 1 à 100 unités de protozoaires pour entraîner des effets pathogènes, de plus ils possèdent des propriétés de résistance aux désinfectants généralement utilisés pour le traitement de l'eau (BAUMONT et *al.*, 2005).

### 3.2.4. Helminthes

Les helminthes représentés par exemple par l'Ascaris et le Taenia et plus précisément les œufs d'helminthes (la forme de résistance dans l'environnement) sont retrouvés dans les eaux usées brutes et les boues résiduaires (CAPIZZI et SCHWARTZBROD, 2003). Les œufs et les larves sont résistants dans l'environnement et le risque lié à leur présence est à considérer pour le traitement et la réutilisation des eaux résiduaires. En effet, la persistance de ces organismes à différentes conditions environnementales ainsi que leur résistance à la désinfection permet leur reproduction, ce qui constitue leur risque potentiel (CAMPOS, 2008).

## 4. Normes d'utilisation des eaux

### 4.1. Normes de potabilité

L'eau potable doit obligatoirement respecter les seuils réglementaires de différents paramètres, divisés en différents groupes: les qualités organoleptiques (odeur, couleur, saveur), les éléments microbiologiques (virus, bactéries), les substances indésirables (nitrate, fluor), toxiques (chrome, plomb), les pesticides ainsi que la composition naturelle de l'eau (pH, taux de calcium,...) (ENCYCLOPÉDIE MÉDICALE, 1997).

Les normes de potabilité sont l'ensemble des critères organoleptiques, physiques, chimiques, toxiques, éléments indésirables et bactériologiques que doit respecter une eau pour pouvoir être offerte à la consommation humaine (HUBERT et MARIN, 2001).

#### 4.1.1. Réglementation Algérienne

En Algérie, il existe des réglementations locales pour la qualité de l'eau de boisson en citant le Journal Officiel de la République Algérienne (J.O.R.A., 2011) qui représente les différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau de consommation humaine avec des valeurs limites.

La présente norme Algérienne N.A. 6360-1992 est inspirée des normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) relatives aux eaux et des normes prescrites dans les directives de la Communauté Économique Européenne (C.E.E.).

La présente norme a pour objet de fixer les spécifications organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques et toxicologiques des eaux destinées à la consommation.

Nous nous référons aux normes l'O.M.S., Algériennes aussi aux normes Françaises présentés dans le tableau qui suivent (Tab.1). Et Nous nous référons aux normes de qualité microbiologiques de l'eau de boisson fixées par l'O.M.S. (Tab. 2).

**Tableau 1.** Normes Algériennes l'O.M.S. et Françaises de potabilité des eaux de consommation

Paramètres physico-chimiques	Unité	Normes O.M.S.	Normes Algériennes	Normes Françaises
Température	°C	/	25	25
pH	/	7-8.5	6,5 – 9	6,5-9
Conductivité électrique à 20°C (CE)	µS/cm	1500	2800	/
Turbidité	NTU	5	5	2
Oxygène dissous	mg.l <sup>-1</sup> O <sub>2</sub>	5	5	5
Chlorures	mg.l <sup>-1</sup>	250	500	200
Dureté Totale	mg.l <sup>-1</sup> en CaCO <sub>3</sub>	500	200	/
Calcium	mg.l <sup>-1</sup>	200	200	/

Magnésium	mg.l <sup>-1</sup>	100	150	50
Nitrates	mg.l <sup>-1</sup>	50-100	50	50
Nitrites	mg.l <sup>-1</sup>	0.1	0,1	0,1
Résidu sec	mg.l <sup>-1</sup>	2000	2000	/
Sodium	mg.l <sup>-1</sup>	200	200	/
Potassium	mg.l <sup>-1</sup>	20	20	/
Sulfaté	mg.l <sup>-1</sup>	400	400	/
Ammonium	mg.l <sup>-1</sup>	0	0.5	0.05-0.5
Ortho-phosphates	mg.l <sup>-1</sup>	/	0.5	/

**Tableau 2.** Normes de qualité microbiologiques de l'eau de boisson fixées par l'O.M.S., rappelées dans une fiche du RéFEA.

Paramètres	Valeurs guide O.M.S.	Indicateurs de pollution
<b>Coliformes thermotolérants</b>	<b>0/100 ml</b>	• <b>Indicateurs de pollution fécale</b>
<b>Streptocoques fécaux</b>	/	• <b>Indicateurs de pollution fécale</b>
<b>Coliformes totaux</b>	<b>0/100 ml dans 95% échantillons d'eaux traitées</b>	

Source : RéFEA 2003

## 4.2. Classification des eaux d'irrigation

### 4.2.1. Evaluation du risque de salinité

La salinité provoque des effets directs sur les végétaux et des risques de salinisation du sol. La salinité d'une eau est exprimée en terme de conductivité électrique en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Cette dernière caractérise la faculté de l'eau à laisser passer le courant électrique, elle augmente avec la concentration des ions en solution et la température. Généralement, les valeurs sont ramenées à 25 °C (BEKKOUCHE, 2016).

**Tableau 3.** Classification de l'eau basée sur la conductivité électrique, selon DURAND, 1983.

Classe de salinité	C.E. ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Salinité des eaux
C1	<250	Eau non saline
C2	250-750	Eau à salinité moyenne
C3	750-2250	Eau à forte salinité
C4	2250-5000	Eau à très forte salinité
C5	5000-20000	Eau à salinité excessive

#### 4.2.2. Evaluation du risque d'alcalinité

Une grande quantité d'ions de sodium dans l'eau affecte la perméabilité des sols et pose des problèmes d'infiltration. Ceci est dû à l'altération des agrégats des sols. Le sol devient alors dur et compact (lorsqu'il est sec) réduisant ainsi les vitesses d'infiltration de l'eau et d'air, affectant ainsi sa structure et par conséquent la culture n'est plus suffisamment alimentée en eau et le rendement diminue. L'alcalinisation est le processus par lequel la teneur en Na échangeable d'un sol augmente par la fixation sur le complexe adsorbant (BEKKOUCHE, 2016).

La précipitation rapide des carbonates de calcium et de magnésium permet aux ions sodiques de se fixer sur le complexe. La teneur en ions  $\text{Na}^{2+}$  et  $\text{K}^+$  du sol provenant des sels alcalins (carbonates et sulfates) conduisent à des pH supérieurs à 8 (BEKKOUCHE, 2016).

Le coefficient utilisé est celui d'adsorption du sodium (S.A.R.) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Le S.A.R. est défini par l'équation suivante :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na} +}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}}$$

**Tableau 4.** S.A.R. des eaux et risque d'alcalinisation des sols

S.A.R.	Alcalinisation
S.A.R. < 4	Pas d'alcalinisation
4 < S.A.R. < 8	Faible d'alcalinisation
8 < S.A.R. < 12	Alcalinisation moyenne
12 < S.A.R. < 18	Forte d'alcalinisation
S.A.R. > 18	Alcalinisation intense

Source : SERVANT, 1975

**Tableau 5.** Normes de qualité des eaux destinées à l'irrigation

Paramètres	Unité	Valeurs maximales	
		Norme Algérienne (2011)	Norme OMS (2006)
PH		6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Conductivité électrique	$\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 C°	$\leq 3000$	< 2250
Nitrates ( $\text{NO}_3^-$ )	mg/l	30	30
Sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ )	mg/l	300	250
Chlorures ( $\text{Cl}^-$ )	mg/l	350	350
Bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ )	mg/l	500	400

SAR		< 3	< 3
Fer (Fe <sup>++</sup> )	mg/l	5	20
Manganèse (Mg <sup>++</sup> )	mg/l	0.2	100
Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/l	/	200
Potassium (K <sup>-</sup> )	mg/l	/	20
Calcium (Ca <sup>++</sup> )	mg/l	/	200

Source : journal officielle 2011

### 4.3. Environnemental

Les eaux naturelles constituent un milieu complexe. Si leurs compositions sont en relation directe avec les constituants des sols et des couches géologiques traversées, la qualité des eaux est largement affectée par le couvert végétal, les pratiques agricoles, l'urbanisation et plus généralement par l'activité économique développée dans les paysages où elles coulent (RODIER et al., 2005).

#### 4.3.1. Normes de la qualité des eaux souterraines

La directive 2006/118/CE du parlement européen et du Conseil de l'union Européenne du 12 décembre 2006 sur la protection des eaux souterraines contre la pollution, a défini la norme de qualité d'une eau souterraine que c'est une norme de qualité environnementale exprimée par la concentration d'un polluant, d'un groupe de polluants ou d'un indicateur de pollution dans une eau souterraine, qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement. Les normes fixées par cette directive sont représentées dans le (Tab 6).

**Tableau 6.** Valeurs seuils applicables aux eaux souterraines

Polluants	Valeurs limites	Unités
Ammonium	0.5	mg/l
Arsenic	10	µg/l
Cadmium	5	µg/l
Chlorures	150	mg/l
Chrome	50	µg/l
Cuivre	100	µg/l
Mercure	10	µg/l
Nickel	20	µg/l
Nitrates	50	mg/l
Phosphore total	1.15	mg/l
Plomb	10	µg/l
Sulfates	250	µg/l
Zinc	200	µg/l

Source : J.O.U.E. 2006

## 5. Pollution de l'eau

La pollution des eaux est définie comme toute modification physique ou chimique de la qualité des eaux, qui a une influence négative sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités. Donc on dit que l'eau est polluée, lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement modifié par l'action de l'homme (EZZIANE, 2007).

## 6. Origines des pollutions des eaux

La pollution des eaux provient essentiellement des activités domestiques et industrielles ainsi que des précipitations, elle perturbe les conditions de vie de la flore et la faune aquatiques, elle compromet également l'utilisation de l'eau et l'équilibre du milieu aquatique. On distingue quatre grandes catégories d'eaux usées : les eaux domestiques, les eaux pluviales, les eaux industrielles et les eaux agricoles (GOMMELLA et GURREE, 1983).

## 7. Pollution des eaux souterraines

La pollution des eaux souterraines est le risque permanent de l'élimination de la ressource en eau dans un proche avenir (CASTANY, 1982).

C'est une pollution très discrète mais très persistante et ses conséquences doivent être envisagées sur le très long terme (GAUJOUS, 1985).

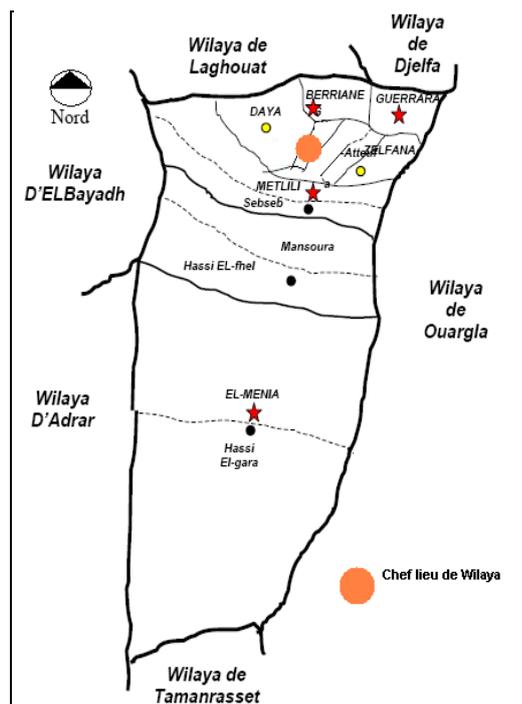
Les eaux souterraines longtemps considérées comme pures et protégées par le sol contre les diverses activités humaines, sont de nos jours souvent touchées par l'infiltration de multiples polluants à hauts risques, dont les plus répandus sont les nitrates et les pesticides (DEGREMENT, 2005).

Les nappes libres sont les plus exposées à la contamination, non seulement parce qu'elles ne bénéficient pas d'une protection naturelle vers la surface mais encore parce qu'elles sont en général peu profondes. Les nappes captives sont plus protégées, mais peuvent être éventuellement contaminées par des forages ou une autre mise en communication avec la surface ou un autre aquifère pollué (BAUMONT et *al.*, 2005).



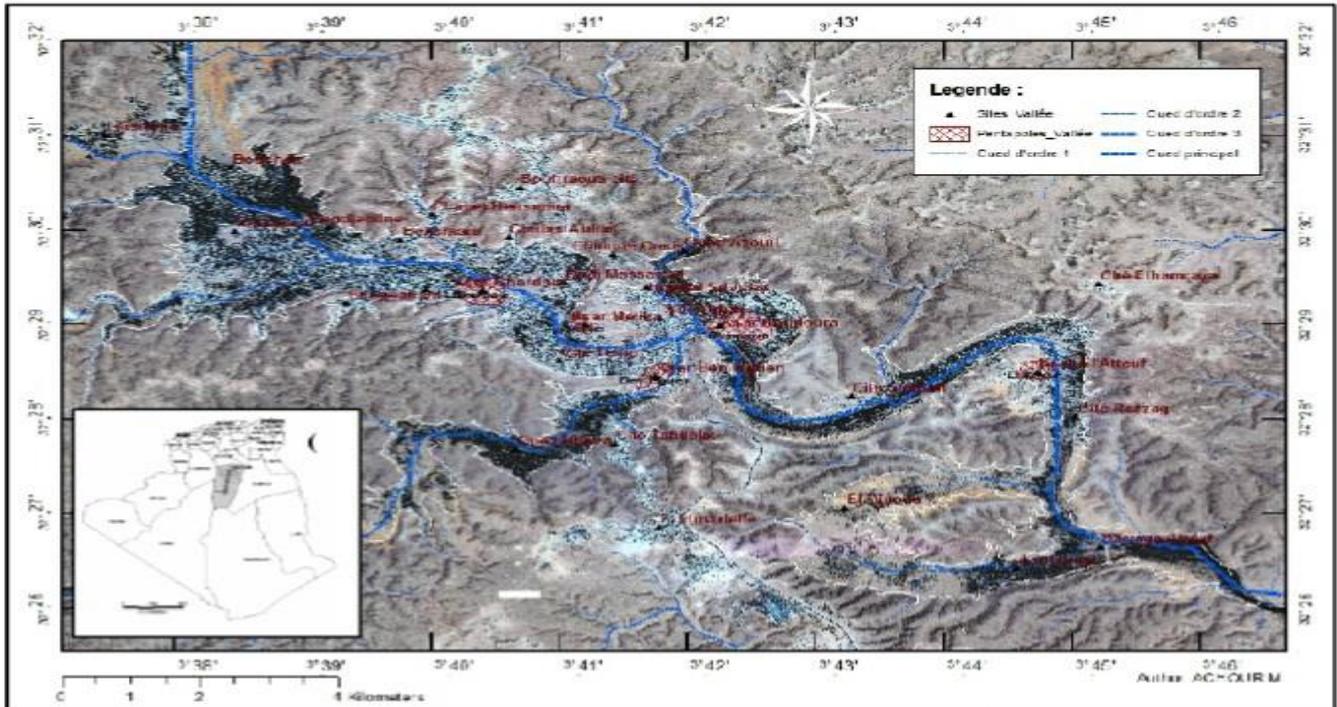
Cette wilaya comprenant la vallée du M'Zab est supportée par un plateau dit "plateau de la hamada" compris entre les 32° et 33° 20' de latitude Nord et 2° 30' de longitude Est (FRANCIS, 2002).

D'une superficie de 86 105 Km<sup>2</sup>, avec ses neuf daïras et ses treize Communes, cette wilaya compte environ, 375 000 habitants, et délimitée par les wilayas d'El Bayadh et d'Adrar à l'OUEST, Tamanrasset au SUD, Ouargla à l'EST et Laghouat, Djelfa au NORD (Fig.2).



**Figure 2.** Découpage de la wilaya de Ghardaïa.  
*Echelle régionale*

Le plateau de la Hamada est recouvert par des terrains quaternaires où de considérables érosions ont fait surgir un plateau de calcaire disséqué, découpé en vallées et ravins qui s'enchevêtrent les uns dans les autres, c'est de ce phénomène que les habitants de la région l'on dénommé du nom analogique de chebka (filet), comme le montre la (Fig.3) (BAUDOUI et POTIE, 2003)



**Figure3.** Chebkade la vallée du M'Zab.  
(Image IKONOS/2000)

Incliné du nord-ouest au sud-est, le plateau a une altitude moyenne de 700 à 800 mètres dans la partie nord-ouest et de 300 mètres seulement dans la partie sud-est.

La vallée de M'Zab, d'une superficie de 50 Km<sup>2</sup> et célèbre par ses ksour, s'étend sur 20 Km de longueur et 2.5 Km de largeur.

Elle est composée d'espace minéral, les ksour (MOUSSELMAM, 2001), et d'espace végétal, les palmeraies qui entourent ces derniers. Sept ksour forment la vallée du M'Zab. Cinq sont situés sur les berges de l'oued M'Zab et forment ainsi la Pentapole du M'Zab. Ce sont Béni-Isguen, Bounoura, El Atteuf, Ghardaïa et Melika. Les deux derniers, Guerrara et Berriane, sont situés à quelques kilomètres de la Pentapole (AMAT, 1888).

Le paysage de la chebka est dépourvu de toute végétation à l'exception de quelques palmeraies qui entourent la ville, un sol presque exclusivement rocheux avec au creux des oued, des lits sablonneux, primitivement impropres à la consommation (BOURDIEU, 1974).

### 3.Climat

Le bassin versant de l'oued M'Zab appartient au Bassin du Saharien Septentrional. Il prend naissance au piedmont de l'Atlas Saharien à plus de 750 m d'altitude et déverse à son exutoire après 320 km à Sebkhataf Safone au nord de la ville d'Ouargla à une altitude de 107 mètres (Chabi, 2009).

### 3.1. Données climatiques de la vallée du M'Zab

Le climat de la région du M'Zab est de type saharien qui recouvre une grande partie de l'Afrique du nord (intertropicale) comme le montre la fig.4 (BOUCHERF, 2006).



**Figure 4.** Régions sahariennes de l'Afrique du Nord.  
Source : HISTGEOGRAPHIE.COM

Le caractère fondamental de ce type de climat est la sécheresse de l'air conjugué à une faible pluviométrie, mais les microclimats jouent un rôle considérable dans le désert par le relief ou la végétation qui modifient localement les conditions climatiques (BOUCHERF, 2006).

Au sein d'une palmeraie, nous pouvons relever un degré hygrométrique élevé qui agit positivement sur la sensation du confort thermique. Ce type de climat, assez doux en automne et au printemps, est en outre caractérisé par des étés chauds, des hivers doux surtout pendant la journée (Atlas, 2004), une luminosité intense et une importante amplitude entre les températures diurnes et nocturnes. La compréhension des variations climatiques dans l'espace et dans le temps est absolument indispensable pour une meilleure adaptation de l'Homme à son environnement.. Dans la vallée du M'Zab, le climat local, à travers la température de l'air, l'humidité, vents, l'irradiation solaire, précipitations et insolation solaire, dépend essentiellement :

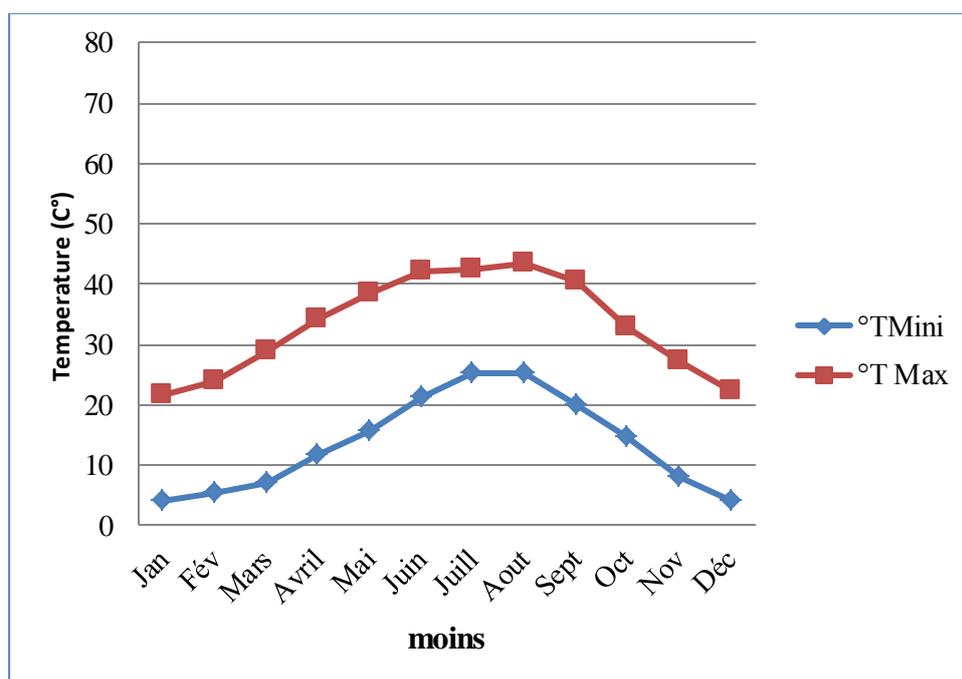
- de sa position en latitude qui détermine l'intensité de la radiation solaire reçue ;
- des conditions du site et de l'environnement qui sont à l'origine de modifications climatiques particulières (KITOUS et *al.*, 2006).

### 3.1.1. Température d'air

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 distribution annuelle des températures est assez uniforme ; l'été est la saison caniculaire dans la région avec des températures très élevées, lesquelles sont marquées par une grande amplitude entre celles du jour et celles de nuit, d'été et d'hiver.

La période chaude commence au mois de mai et dure jusqu'au mois de septembre. La température moyenne enregistrée au mois de juillet est de 33,9 °C, le maximum absolu de cette période peut atteindre 43.5 °C. Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de janvier ne dépasse pas 14 °C, le minimum absolu de cette période a atteint 4.2 °C (O.N.M., 2007).



**Figure 5.** Évolution Moyennes mensuelles des T° (2007-2016)  
(Source : origine)

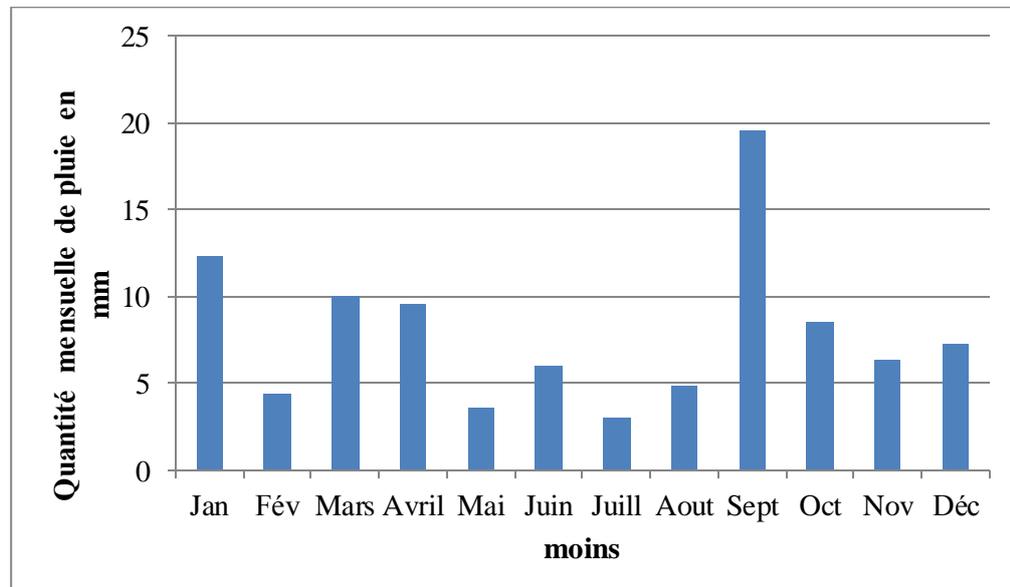
### 3.1.2. Précipitation

La faiblesse de la pluviométrie est le caractère fondamental de la vallée du M'Zab (Talbi, 2007).

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. (O.N.M., 2007).

Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 95.7 mm, avec un maximum en septembre de 19.6 mm. (O.N.M., 2007).



**Figure 6.** Variation des précipitations (2007 et 2016)

(Source : origine)

### 3.1.3. Humidité relative de l'air

A Ghardaïa, l'humidité relative de l'air (Hr) est faible, avec une moyenne annuelle de 35.81%. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année. En effet, pendant l'été, elle diminue jusqu'à 20,1 % 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 54.8% au mois de décembre. (O.N.M. 2007)

### 3.1.4. Vents

Il n'y a pas de désert sans vents. Le vent est le facteur principal de la topographie désertique. Pendant certaines périodes de l'année, en général en mars et avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des trompes de sable se déplacent avec violence atteignant plusieurs centaines de mètres de haut (D.P.A.T., 2005).

Des masses de sable peuvent être transportées à des distances considérables. La connaissance du climat local est sujette à l'étude du vent (intensité, direction et fréquence), qui est à l'origine des contrastes climatiques les plus marquants.

Les vents, d'une moyenne de 4 m/s, peuvent constituer un facteur de gêne important pour le confort humain. Ils peuvent atteindre 20 m/s et dans des cas extrêmes, 36 m/s, provoquant des tempêtes de sables qui constituent une des principales contraintes climatiques dans la vallée du M'Zab. Les vents dans la région de Ghardaïa soufflent pendant toute l'année, avec des vitesses variables, allant de 9,854Km/h en novembre à 15,91Km/h en avril (Kitous et al 2006).

### 3.1.5. Evaporation

Selon DUBIEF (1959), le Sahara apparaît comme la région du monde qui possède l'évaporation la plus élevée.

Dans la région de Ghardaïa comme partout en milieu aride, l'évaporation est toujours plus importante, avec un cumul annuel de l'ordre de 2650,1 mm, un minimum de 96.5mm en janvier et un maximum de 374,3mm en juillet (Tab.7).

**Tableau VII.** Evaporation moyenne mensuelle de Ghardaïa (2007 -2016).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Evaporation(mm)	96,5	116,7	186	229,3	278,6	352,4	374,3	346,7	254,8	166,6	115,2	151

(Source : origine)

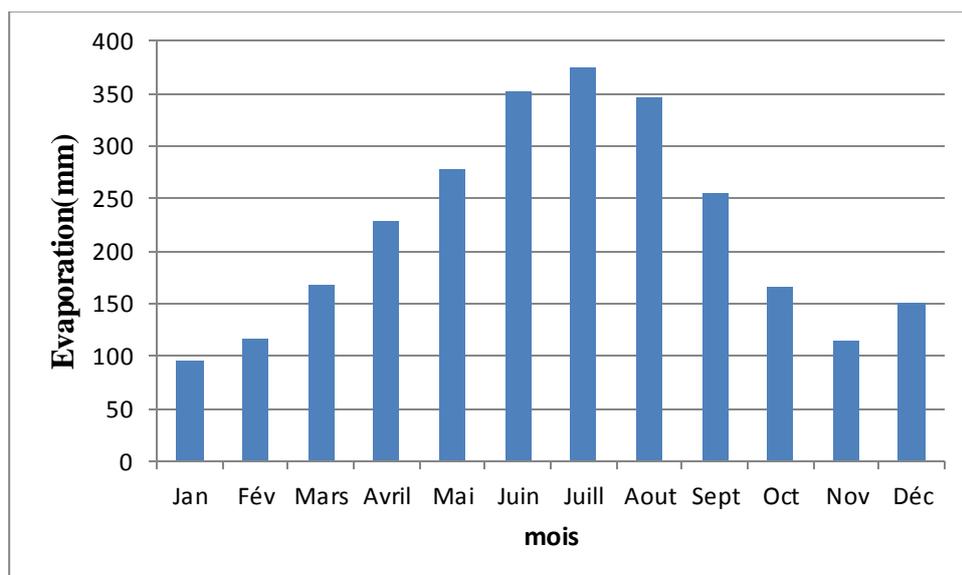


Figure 7. Histogramme D'évaporation moyenne mensuelle (2007-2016).

(Source : origine)

### 3.1.6. Insolation

C'est le rayonnement solaire reçu par notre planète, compte tenu du mouvement de celle-ci autour du Soleil, de l'existence de la couche d'air qui l'entoure et de la répartition des continents et des océans, qui est le moteur du climat qui y règne (BERTOLO et BOURGES, 1992).

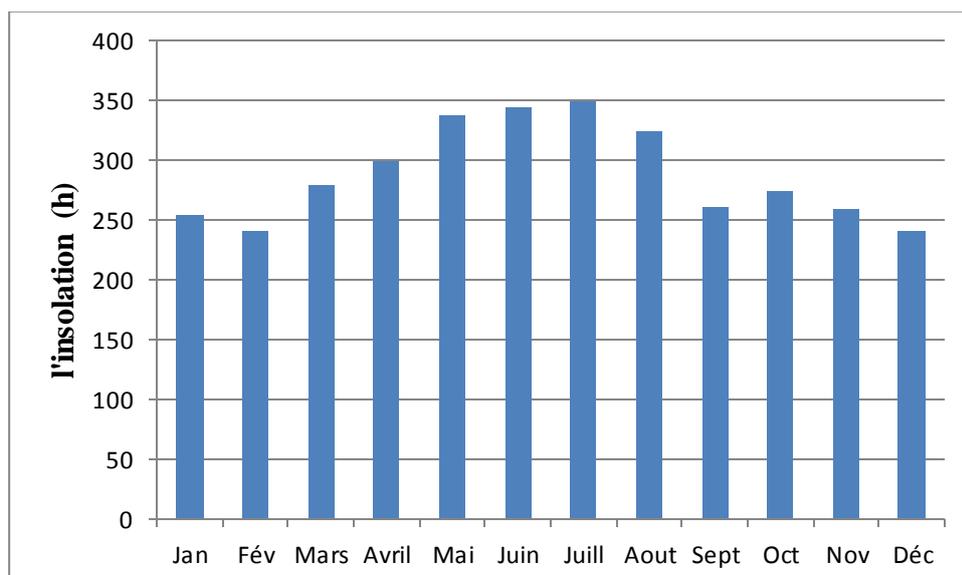
Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre, et même suivant les périodes de l'année envisagées (DUBIEF, 1959).

La durée moyenne de l'insolation est de 289.25 h avec un maximum de 350 h en juillet et un minimum de 242 h en décembre (Tab.8)

Tableau 8. Durée d'insolation (en heures).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
l'insolation (h)	254	242	280	299	338	345	350	324	262	275	260	242

(Source : origine)



**Figure 8.** Durée d'insolation (en heures)

(Source : origine)

## 3.2. Synthèse climatique

Pour caractériser le climat de Ghardaïa, nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme d'EMBERGER

### 3.2.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Ce diagramme est utilisé pour mettre en évidence les périodes de sécheresse. Il utilise deux variables : les moyennes des précipitations et des températures mensuelles, selon l'échelle :  $P = 2 T$ . Les périodes de sécheresse correspondent aux moments où la courbe de la pluviométrie passe au-dessous de celle de la température (DAJOZ, 2006).

D'après (Fig.9), la période sèche couvre la quasi-totalité de l'année à Ghardaïa.

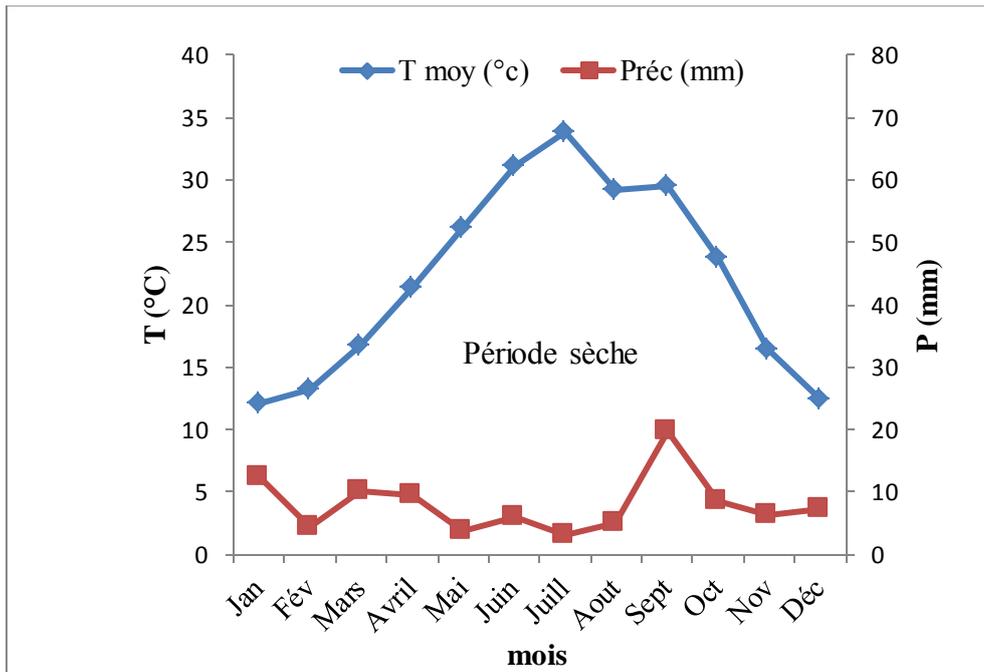


Figure 9. Diagramme ombrothermique de la région de Ghardaïa 2007-2016 (Source : origine)

### 3.2.2. Climagramme d'EMBERGER

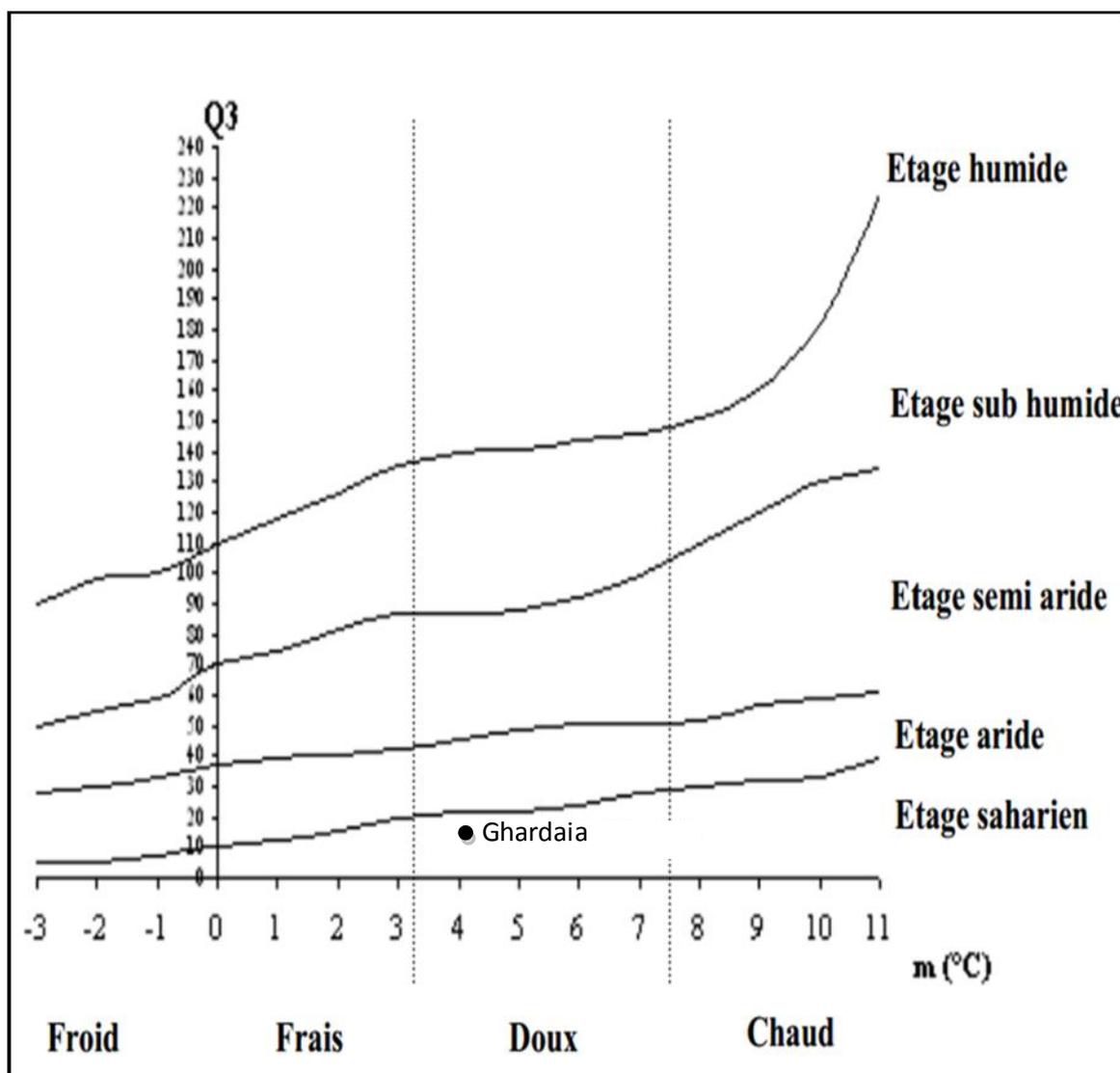
Pour classer le bioclimat, nous avons utilisé le quotient pluviométrique d'Emberger spécifique au climat méditerranéen, dont la formule est (CLAUDIN et al., 1979 in SLIMANI, 2006) :  $Q_2 = 2000 P / M^2 - m^2$ .

De fait, que M et m, les températures maxima et minima 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 :

$$Q_3 = 3,43P / M - m$$

- ✓ 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.10), Ghardaïa est caractérisée par un climat saharien à hiver doux et son quotient thermique ( $Q_3$ ) est de 16.74.



**Figure 10.** Etage bioclimatique de la région de Ghardaia selon le climagramme d'EMBERGER (2007/2016)

#### 4. Hydrologie

La région de Ghardaia est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : Oued M'Zab, Oued Sebseb, Oued Metlili, Oued N'sa et Oued Zegrir. L'ensemble de ces oueds constitue le bassin versant de la dorsale du M'Zab (Fig.11) (A.N.R.H., 2011).

Ce bassin draine en grande partie les eaux de la dorsale de l'Ouest vers l'Est, les écoulements sont sporadiques, ils se manifestent à la suite des averses orageuses que connaît la région (DUBIEF, 1963).

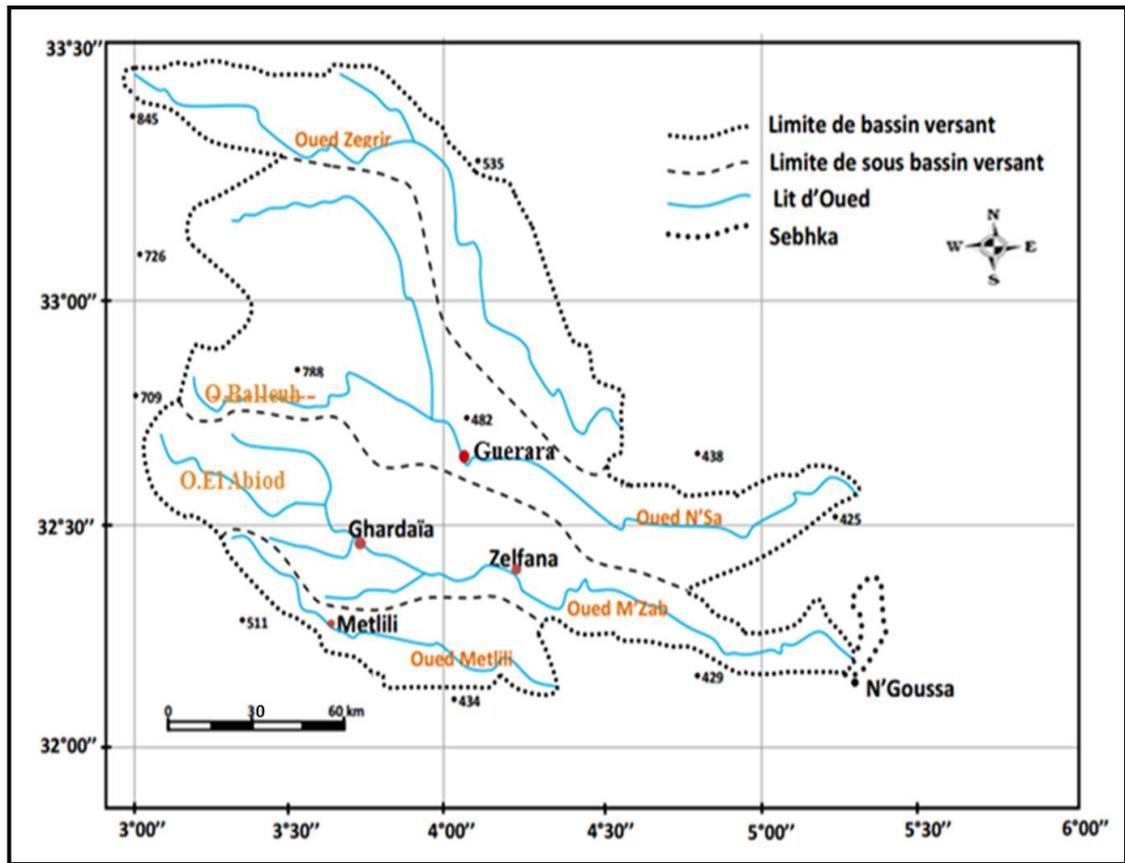


Figure 11. Bassin versant des oueds de la région du M'Zab (DUBIEF, 1953)

### 4.1. Géologie

La wilaya de Ghardaïa, est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Sahara.

Au centre, la dorsale du M'Zab se divise en deux grandes parties, la première à l'Ouest, datée du Crétacé moyen Turonien et la deuxième à l'Est, datée du Crétacé supérieur. Oued M'Zab traverse la dorsale, se composant d'alluvions quaternaires. À l'Ouest et au Sud-Ouest, attribués au Cénomaniens, en grande partie, il est couvert par les dunes du grand erg occidental. À Est et au Nord-Est, attribués au Mio-pliocène (BENHDID, 2011) (Fig.12).

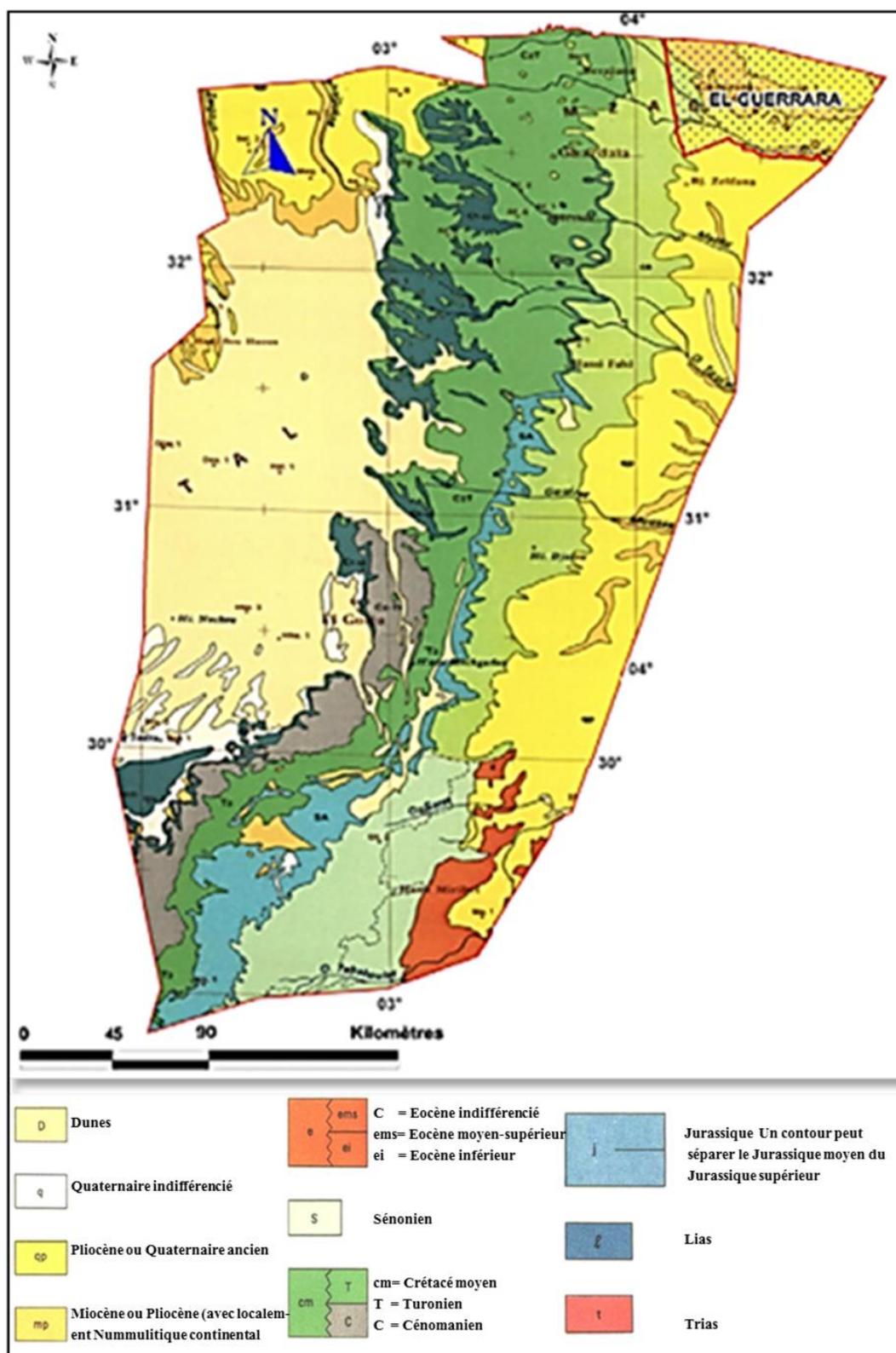


Figure 12. Carte géologique de la wilaya de Ghardaïa (A.N.R.H., 2010)

Au vu de la coupe géologique schématique (Fig.13), la vallée du M'Zab est formée de (A.N.R.H., 2003; A.N.R.H., 2007) :

- ✓ L'étage de l'Albien est représenté par une masse importante de sables fins à grès et d'argiles vertes. Il abrite des ressources hydrauliques considérables, l'épaisseur est de l'ordre de 100 mètres ;
- ✓ Le Cénomaniens est une couche imperméable de 100 m formée d'argile verte et de marne riche en gypse et en anhydrite;
- ✓ Le Turonien est constitué de calcaire dolomitique massif. L'épaisseur de ses massifs calcaires est de l'ordre de 110 mètres, les premiers mètres de ces assises calcaires présentent des fissures dans lesquelles on peut trouver l'eau. Ces eaux ont pour origine l'infiltration de la nappe phréatique de l'oued M'Zab.
- ✓ 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 (nappes phréatiques).

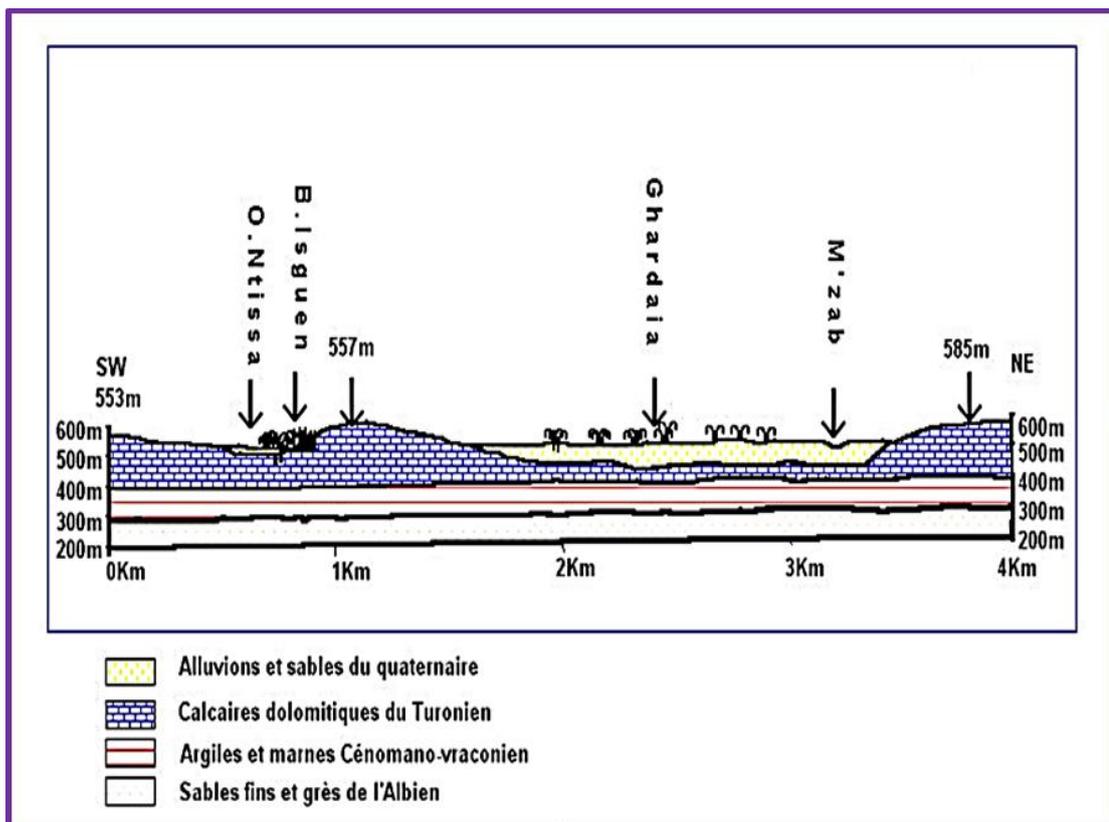


Figure 13. Coupe géologique schématique de la vallée du M'Zab (A.N.R.H., 2003)

## 4.2. Hydrogéologie

Les principales ressources en eau de la wilaya sont d'origine souterraine. Elles sont contenues dans deux types d'aquifères, classées par leurs profondeurs : l'aquifère superficielle d'alluvionnaire quaternaire (nappe phréatique), et l'aquifère profond, Continental Intercalaire (Albien) (BENHDID, 2011).

### 4.2.1. Nappe phréatique

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou les vallées. Elles sont alimentées par les pluies, les crues, les eaux de drainage et aussi très souvent par les remontées naturelles (sources), en provenance des aquifères plus profonds ou encore par les fuites dans les ouvrages exploitant ces dernières (DJIDEL, 2008).

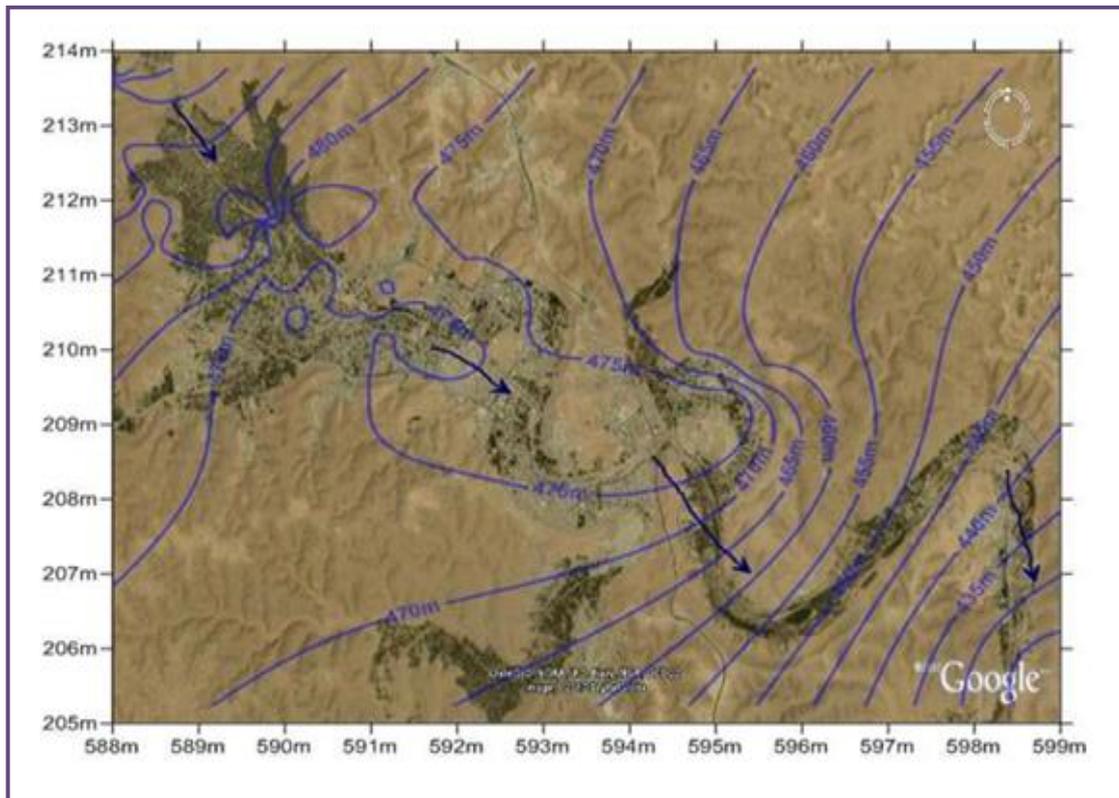
La nappe phréatique du M'Zab a une extension Nord-Sud, sous forme d'une large bande occupant l'essentiel de la partie Nord de la Chebka (BNEDER, 1988 in DADDI BOUHOUN, 1997). L'aquifère de cette nappe est formé d'alluvions du quaternaire, ces alluvions reposent sur les couches calcaires du turonien (A.N.R.H., 2003 ; A.N.R.H., 2005).

La carte de niveau piézométrique (Fig.14) dressée par le logiciel Surfer montre un écoulement général des eaux de la nappe de Nord-Ouest de la vallée en amont, avec une piézométrie de 500 m, elle s'abaisse progressivement vers le Sud-Est pour atteindre la cote 430 m en aval au niveau d'El Atteuf (BENSAHA et *al.*, 2011).

Les études sur la qualité des eaux phréatiques ont débuté avec la mesure de la résistivité qui estime la salinité (VILLE, 1872 in DADDI BOUHOUN, 1997), les analyses effectuées à différentes époques entre 1960 et 2013 montrent une variation de la salinité et du faciès dans la vallée du M'Zab (BNEDER, 1988 ; DADDI BOUHOUN, 1997 ; A.N.R.H., 2003 ; ZEZZAG et BEN YAHKOUM, 2005 ; BOUHADDA et ZENTAR, 2006 ; TALEB BAHMED, 2008 ; HASSANI, 2009 ; MELLAK, 2009 ; BENZAYET, 2010 ; BENHEDID, 2014) :

La salinité des eaux varie du minimum de l'ordre 561 mg/l de résidu sec à un maximum de 10082 mg/l.

Le faciès des eaux varie entre un faciès sulfaté calcique magnésien et chloruré calcique magnésien et le sulfaté chloruré magnésien sodique et calcique (BENHDID, 2011).



**Figure 14.** Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée du M'Zab d'avril 2008 (BENSAHA *et al.*, 2011)

#### 4.2.2. Nappe du Complexe Terminal

Le complexe terminal (C.T.) couvre une superficie de 665.000 km<sup>2</sup>, il regroupe plusieurs aquifères à formation géologiques différentes, d'âge Turonien, Sénonien, Eocène et Mio-pliocène. Interconnectés entre eux, l'ensemble forme un même système hydraulique. Ces limites d'affleurement sont :

- au Nord, dans le sillon des chotts algéro-tunisiens.
- à l'Est, le long du flanc oriental du Dahra et du J.Nafusa en Tunisie.
- au Sud, sur les plateaux de Tinrhert et de Tademaït.

- à l'Ouest, sur la dorsale du M'Zab (calcaires du Turonien), considérée comme une zone d'alimentation du C.T. Etant la limite de la nappe du C.T. est située plus à l'Est de la région du M'Zab, cette dernière n'est pas captée avec succès dans la région de Ghardaïa. De ce fait, nous n'abordons en détail que la nappe du C.I. (ACHOUR, 2014).

Pour la nappe du Complexe Terminal, le remplissage le plus important du réservoir s'est fait essentiellement pendant les périodes pluvieuses du Quaternaire. Actuellement la recharge de la nappe se continue à travers des quantités d'eaux non négligeables :

- Soit par infiltration du ruissellement des Oueds descendant des massifs montagneux. Ces derniers traversent la formation perméable affleurantes. Notamment au pied de l'atlas saharien, du M'Zab et du Dahra.

- Soit par infiltrations des pluies exceptionnelles dans les les sables du grand Erg oriental reposant en partie sur des horizons perméables du Complexe Terminal (OUALL,2005).

#### **4.2.3. Nappe du Continental Intercalaire**

Le Continental Intercalaire (C.I.) constitue le réservoir profond du Sahara septentrional. Il s'étend sur plus de 600 000 Km<sup>2</sup>. Son épaisseur dépasse 250 m dans la plus grande partie du réservoir, elle atteint 1000 m au Nord-Ouest (C.D.A.R.S., 1999).

L'essentiel des ressources de cet énorme réservoir correspond à de l'eau infiltrée au cours des périodes pluvieuses du quaternaire : il s'agit donc de ressources fossiles (U.N.E.S.C.O., 1972). Cependant, l'alimentation actuelle est relativement faible, se faisant par ruissellement à la périphérie du réservoir, tout au long et à l'extrémité des Oueds, qui descendent des monts de l'Atlas saharien, du Dahar tunisien, du plateau de Tademaït et Tinhert, et par les pluies exceptionnelles sur les grands ergs. L'écoulement des eaux se fait dans la partie occidentale du Nord vers le Sud, et dans la partie orientale de l'Ouest vers l'Est (Tunisie), et du Sud vers le Nord (KHADRAOUI et TALEB, 2008).

Cette nappe représente la principale ressource en eau de la région. L'aquifère est composé de sables, grès et d'argiles sableuses, d'âge Albien. Selon la région, elle est captée à une profondeur, allant de 250 à 1000 m (BENHEDID, 2011).

Suivant l'altitude de la zone et la variation de l'épaisseur des formations postérieures au C.I., elle est (A.N.R.H., 2010) :

Jaillissante et admet des pressions en tête d'ouvrage de captage dans les zones de Zelfana, Guerrara, HassiFhel et Hassi Gara.

Exploitée par pompage dans les zones de Ghardaïa, Metlili, Berriane, Sebseb, Mansourah et certaines régions d'El Menia.

Les analyses chimiques d'échantillons des différentes localités de la wilaya, montrent que les eaux, à l'exception de celles d'El Méniaa sont douces, avec une salinité de 370 mg/l, ne sont pas trop chargées avec un résidu sec, variant entre 1068 et 1840 mg/l, et présentent un faciès chimique de type sulfaté magnésien, et parfois sulfaté chloruré magnésien (A.N.R.H., 2005).

La dorsal du M'Zab, orientée approximativement Nord-Sud, divise le domaine du C.I. en deux sous-bassins hydrogéologique : le bassin oriental et le bassin occidental.L'ensemble couvre une surface de 1100.000 de km<sup>2</sup>,et une épaisseur moyenne de 358 mètres (OULD BABA SY,2005).



### 1. Approche méthodologique

Notre approche méthodologique consiste à étudier la qualité physico-chimique et bactériologie des eaux souterraines de la vallée du M'Zab, par des mesures physico-chimiques et bactériologiques des eaux, ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport les normes, afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation et les problèmes de dégradations posés, dans une relation de causes à effets, et ce pour un meilleur aménagement hydro-environnemental de la région dans une perspective de sauvegarde des ressources hydriques souterraines dans la vallée du M'Zab (Fig15).

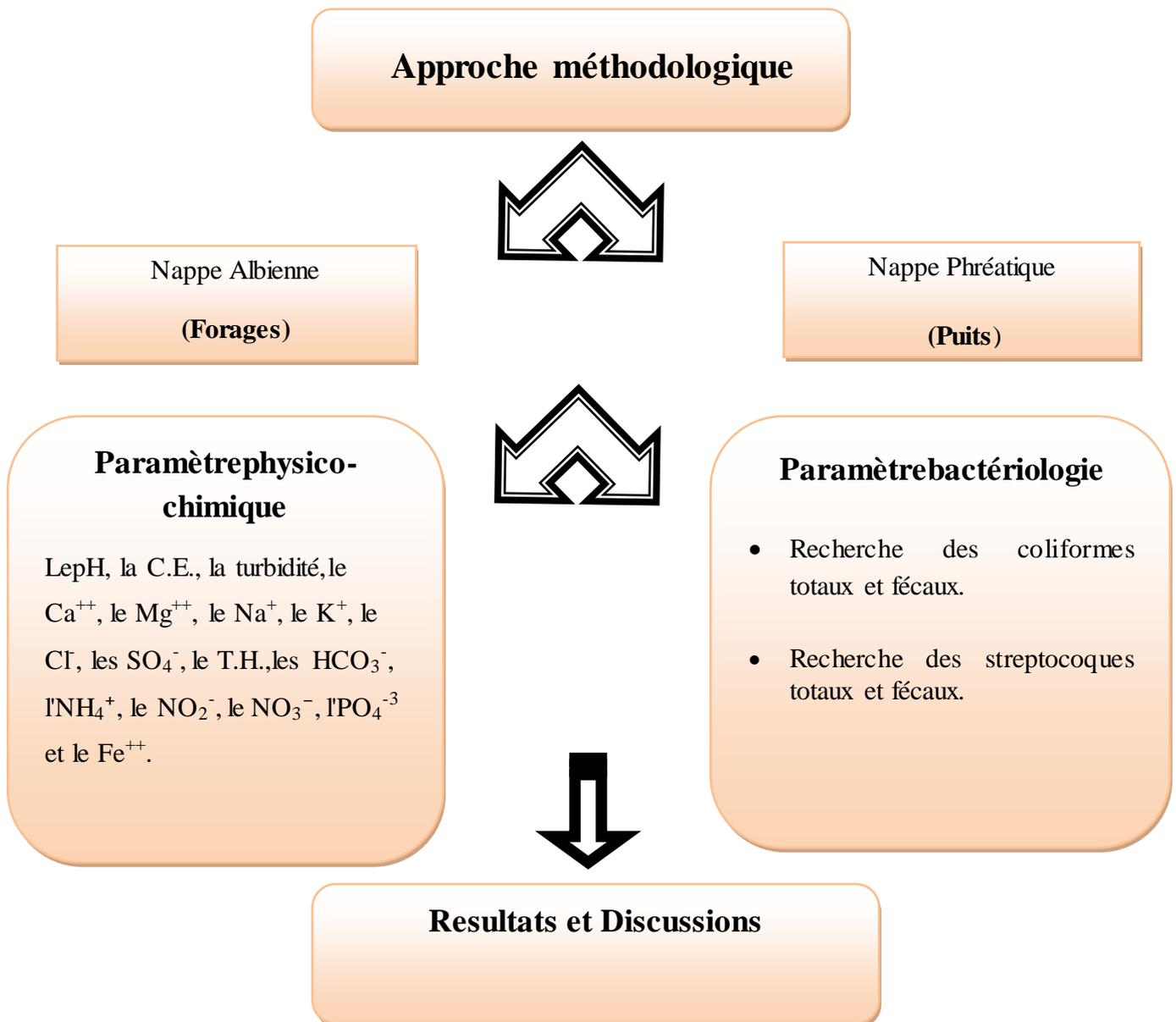


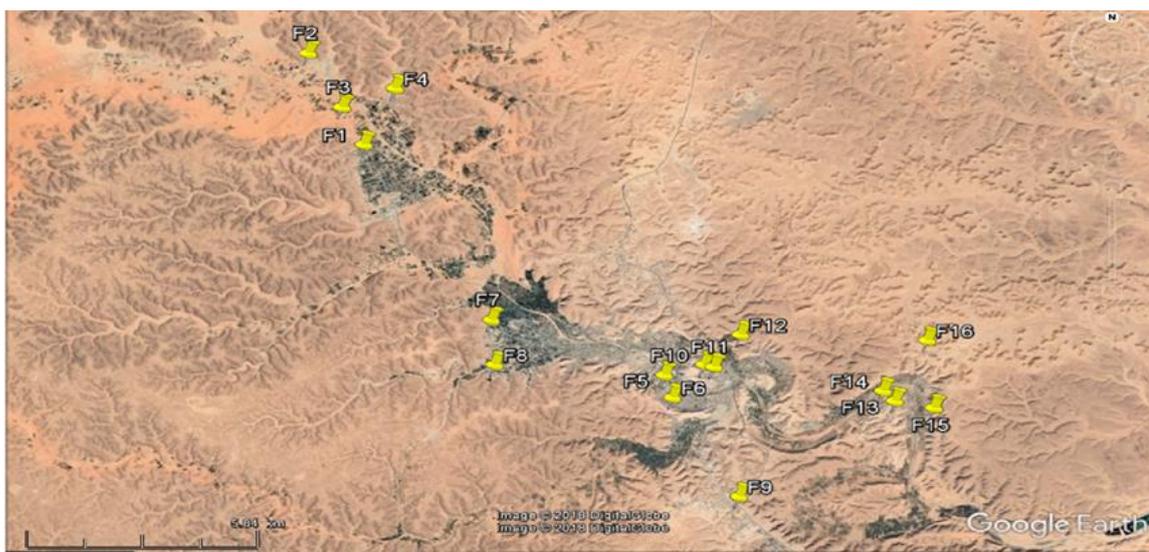
Figure 15. Approche méthodologique

### 1.1. Etude des eaux

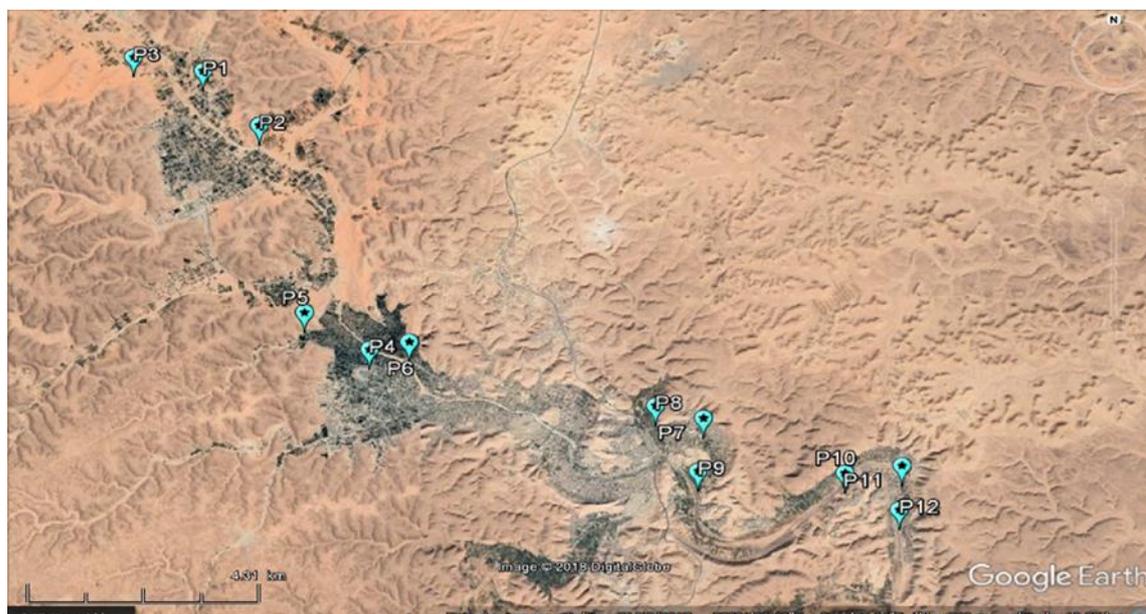
L'étude des eaux souterraines dans la vallée du M'Zab a consisté à effectuer pour 16 forages et 12 puits traditionnels des mesures hydro-chimiques et bactériologiques.

#### 1.1.1. Localisation des forages et des puits

Les forages et les puits sont répartis de l'amont vers l'aval de l'oued (de Daia à El-Atteuf) avec 4 stations d'études, en zone urbaine et agricole. Pour chaque stations on choisies 4 forages (Fig.16) et 3 puits (Fig.17).



**Figure 16.** Localisation des forages de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab



**Figure 17.** Localisation des puits de l'aquifère superficiel de l'Oued M'Zab

### 1.2.3. Etude physico-chimique

L'étude physico-chimique des eaux souterraines comprend la détermination des paramètres physico-chimiques ordinaire des eaux souterraines.

Les prélèvements des échantillons des eaux sont effectués selon les normes de RODIER et *al.*, (2009), mentionnant que cette opération est délicate, où à laquelle, le plus grand soin doit être apporté. Le mode de prélèvement conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Les échantillons des eaux sont mis dans des flacons en polyéthylène et étiquetés et transportés au laboratoire dans un délai court, ne dépassant pas 24 heures au maximum, selon les indications de RODIER et *al.* 2005. L'ensemble des prélèvements a duré quatre mois de Décembre à Mars (période hivernale).

Les analyses hydro-chimiques sont effectuées au laboratoire de l'Algérienne des eaux de Ghardaïa (A.D.E.). Les paramètres étudiés sont: le pH, la C.E., la turbidité, l' $\text{NH}_4^+$ , le  $\text{NO}_2^-$ , le  $\text{NO}_3^-$ , l' $\text{PO}_4^{3-}$ , le  $\text{Fe}^{++}$ , les éléments majeurs (le T.H., le  $\text{Ca}^{++}$ , le  $\text{Mg}^{++}$ , le  $\text{Na}^+$ , le  $\text{K}^+$ , le Cl, les  $\text{SO}_4^-$  et les  $\text{HCO}_3^-$ ).

### 1.2.4. Etude bactériologique

Les analyses bactériologiques des eaux sont effectuées après prélèvements des eaux dans des flacons en verre de 250 ml stérilisés au four Pasteur à 180 °C pendant 1 heure 30 minutes. Les échantillons sont prélevés dans la même période des analyses physico-chimiques et transportés au laboratoire de l'A.D.E. pour analyser.

A cause de la non disponibilité du matériel et des produits nécessaire pour les analyses. Nous avons effectué une analyse pour 12 puits et 16 foragerparties sur tous le l'oued M'Zab.

Selon RODIER et *al.*,(2009), l'objectif de l'analyse bactériologique des eaux n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher celles qui sont susceptibles d'être pathogènes. Les paramètres bactériologiques étudiés sont les coliformes totaux et fécaux, les streptocoques totaux et fécaux. Ces analyses ont été effectuées.

## 2. Méthodes d'analyses

La détermination des paramètres étudiés est obtenue suivant les méthodes d'analyses suivantes:

### 2.1. Etude hydro-chimique

Les différents éléments physico-chimiques sont dosés comme suit :

**2.1.1. pH :** la mesure a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre, de type W.T.W. (Annex 5).

**2.1.2. Conductivité électrique :** La mesure est basée sur le principe du pont de Wheatstone, on utilisant comme appareil un galvanomètre ou une image cathodique (RODIER,1984) (Annex 6).

**2.1.3. Turbidité :** elle a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre (Annex 7), de type 2100P (H.A.C.H.). Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau. Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée (I.S.O., 1984).

**2.1.4.Éléments majeurs:** les cations: les ions de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  sont analysés par le spectrophotomètre à flamme, T.H. et les ions de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  sont dosés par titrimétrie. Les anions : les ions de  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$ , sont dosés par titrimétrie, l'ion de  $\text{SO}_4^{--}$  est dosé par gravimétrie.

**2.1.4.1.Titre hydrométrie (T.H.) :** il est dosé par titrimétrie à l'E.D.T.A. Titrage par complexometrie du calcium et du magnésium avec une solution aqueuse de sel disodique d'acide éthylène-diamine tetra-acétique (E.D.T.A.), à un pH de 10. Le mordant noir 11, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium est utilisé comme indicateur (I.S.O., 1984).

**2.1.4.2. Calcium:** Titrimétrie à l'E.D.T.A. Titrage des ions  $\text{Ca}^{++}$  avec E.D.T.A. à un pH compris entre 12 et 13. Le H.S.N., qui forme un complexe rouge avec le calcium, est utilisé comme indicateur (I.S.O., 1984).

**2.1.4.3. Magnésium :** le  $\text{Mg}^{++}$  peut être estimé par la différence entre la dureté totale et le calcium (RODIER *et al.*, 2009).

**2.1.4.4. Sodium et potassium :** le dosage se fait à l'aide d'un spectrophotomètre d'émission de flamme (Annex4). Aspiration de l'échantillon dans une flamme de gaz, présentant une énergie thermique suffisante pour provoquer l'émission de radiations caractéristiques du  $\text{Na}^+$  et du  $\text{K}^+$

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 (I.S.O., 1993).

**2.1.4.5. Chlorures** : le dosage des  $\text{Cl}^-$  est effectué par titrimétrie. 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, un rouge avec des ions chromate qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage (I.S.O., 1989).

**2.1.4.6. Sulfates** : les ions sulfates sont précipités à l'état de sulfate de baryum et évalués gravimétriquement (RODIER *et al.*, 2005) (Annex 18).

**2.1.4.7. Bicarbonates** : le dosage des  $\text{HCO}_3^-$  est effectué par titrimétrie. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré (I.S.O., 1989) (Annex 14).

**2.1.5. Paramètres de la pollution** :  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{PO}_4^{3-}$  sont analysés par spectrophotomètre, de type ODYSSEY (H.A.C.H.).

**2.1.5.1. Ammonium** : il consiste en un ajustement du pH d'une prise d'essai entre 6 et 7.4 avec addition d'oxyde de magnésium afin d'obtenir des conditions légèrement alcalines. La distillation de l'ammoniac libéré et est recueilli dans une fiole réceptrice contenant une solution d'acide borique. Ce titrage de l'ammonium du distillat est réalisé avec une solution titrée d'acide en présence d'une solution boriquée de rouge de méthyle ; et de bleu de méthylène comme indicateurs (I.S.O., 1994).

**2.1.5.2. Nitrites** : réaction des nitrites avec le diméthyle-2.6 phénol en présence des acides sulfuriques et phosphoriques, avec production du nitro-4diméthyle-2.6 phénol. Mesurage spectrométrique de l'absorbance du produit de la réaction à 324 nm et la lecture de la concentration en nitrite de la prise d'essai au moyen d'une courbe d'étalonnage (I.S.O., 1986).

**2.1.5.3. Nitrates** : En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosali-cylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage spectrométrique (RODIER *et al.*, 2005).

**2.1.5.4. Phosphore** : Le dosage par méthode spectrométrie moléculaire : en milieu acide et en présence de mol-ybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleu susceptible d'un dosage spectrométrique (RODIER, 1996).

**2.1.5.4. Orthophosphates** : 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).

**2.1.6. Fer** : le dosage de fer est effectué par spectrophotomètre (Annex 8), de type ODYSSEY (HACH). Addition d'une solution de phénanthroline-1.10 à une prise d'essai et mesurage photométrique du complexe-rouge-orange, à une longueur d'onde d'environ 510nm (I.S.O., 1989).

## 2.2. Etude bactériologique

Les analyses bactériologiques sont effectuées à l'aide des méthodes suivantes :

**2.2.1. Recherche des coliformes totaux et fécaux** : on choisit deux méthodes liquide pour les puits et solide pour les forages.

**1. Méthode liquide** : la méthode utilisée est la méthode de détermination du nombre le plus probable (N.P.P.) par inoculation de tubes en milieux liquides (fermentation en tubes multiples). Il s'agit d'un ensemencement de plusieurs dilutions de l'échantillon, chacune dans une série de tubes (série de 3) (Annex 1 ; 2), contenant un milieu de culture non véritablement sélectif, mais permettant de mettre en évidence la fermentation du lactose avec production de gaz, repiquer les tubes « positifs » sur un milieu liquide, contenant des sels biliaires ou des agents de surface, incubés à 44 °C pour les dénombrements de coliformes fécaux, respectivement (RODIER et *al.*, 2005) (Annex 5).

**2. Méthode solide** : La méthode est dite indirecte il s'agit d'un dénombrement après culture sur un milieu solide, ou parfois sur milieu liquide. Pour le dénombrement des coliformes et les streptocoques fécaux la technique de filtration sur membrane a été utilisée. Le principe de la culture sur un milieu solide est que chaque bactérie donne naissance après incubation à une colonie repérable macroscopiquement. L'unité est alors s'exprime en UFC/volume c'est-à-dire unité formant colonie par unité de volume. Par contre la culture en milieu liquide consiste d'estimer la présence ou l'absence des microorganismes. La technique de filtration sur membrane est une méthode utilisée dans le but de concentrer les microorganismes présents dans 100 ml de volume à travers une membrane poreuse de diamètre 0,45µm de diamètre. Les bactéries piégées à la surface de cette membrane sont mises en culture sur un milieu gélosé donné et pendant une durée précise. Après incubation, comme dans le cas de la numération en milieu gélosé, on compte les colonies formées à la surface du filtre (Annex 14).

**2.2.2. Recherche des streptocoques totaux et fécaux :** nous avons utilisé les deux méthodes que les précédentes avec des milieux spécifiques pour les streptocoques.

Au cours de ce chapitre, nous présenterons et discuterons les principaux résultats obtenus afin de détecter les différentes pollutions et leurs origines.

## 1. Paramètres physico-chimiques

### 1.1pH

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibre physico-chimique, il dépend de l'origine des eaux, de la nature géologique du bassin versant. Vu leur caractère tampon, les variations de pH n'affectent les eaux naturelles que difficilement.

Les valeurs du pH des eaux potables doivent être situées entre 6,5 et 9 Selon la réglementation locale et l'O.M.S. (Tab. 1).

Dans la région d'étude, les valeurs du pH (Fig.20 ; 21) ne montrent pas de variations notables, on note un minimum de 6,84 au puits (P5) et un maximum de 7,51 au puits (P9) ; Et on note un minimum de 6,96 au forage (F12) et un maximum de 7,73 au forage(F3) ce qui témoigne d'un pH conforme à la réglementation des eaux de tous les puits et les forages.

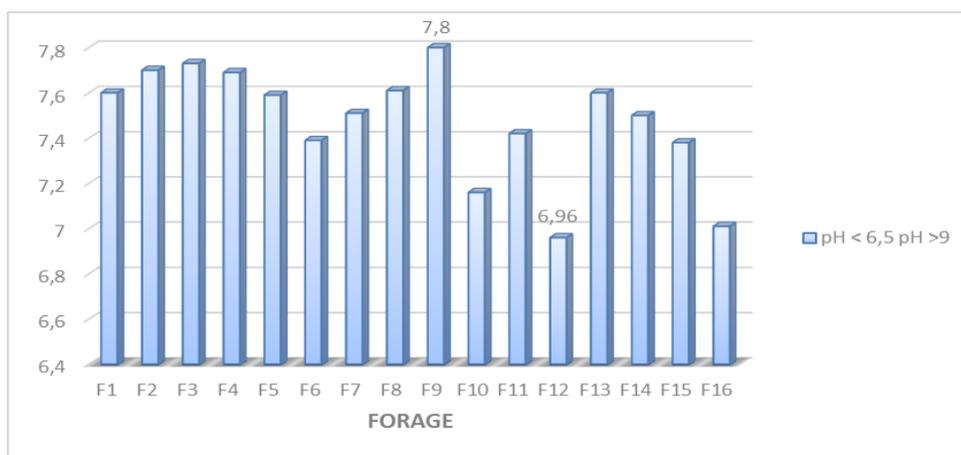


Figure 19. Variation du pH dans les eaux de forages

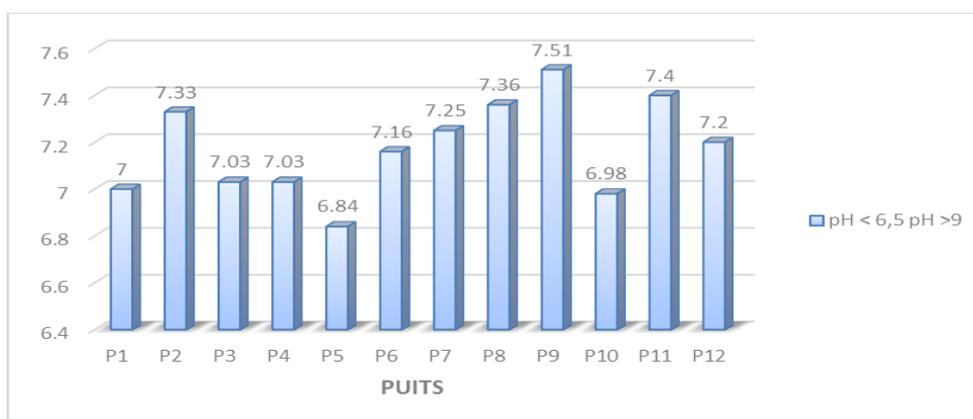


Figure 20. Variation du pH dans les eaux de puits

Le pH indique si l'eau est neutre, acide ou basique. Il est important que le pH de l'eau potable soit à l'équilibre pour que l'eau potable soit inerte avec les matériaux des infrastructures qui la transportent. Une eau ayant un pH inférieur à son équilibre est agressive et attaque les matériaux en contact (tel que les conduites), tandis qu'une eau ayant un pH supérieur à son équilibre dépose du calcaire dans les conduites. Il est toujours à tendre vers une eau légèrement entartrant afin d'éviter tout risque d'attaque de matériaux (A.G.E., 2014).

## 1.2. Conductivité électrique

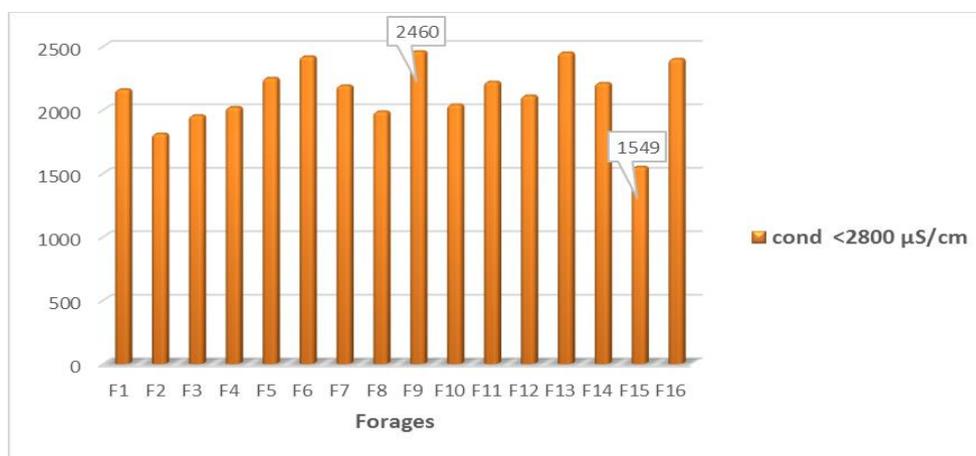
La valeur de la conductivité électrique des eaux de puits ( $4505.5 \pm 2976$ ) diffère significativement des valeurs de celles des eaux de forages ( $2139.38 \pm 590.38$ ).

Les eaux des puits analysées présentent une conductivité électrique qui varie de 1530  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}$  à 6670  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (Fig.22). Toutes les valeurs dépassent la norme algérienne de potabilité et l'O.M.S., excepté le puits (P2) qui affiche une valeur (1530  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

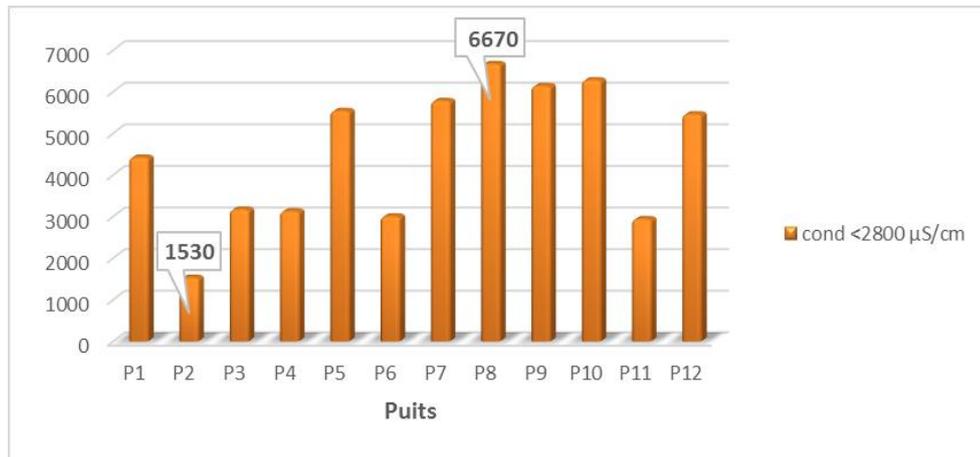
Les résultats des mesures ont permis d'observer la variation de la conductivité électrique (Fig.21), montrant que celle-ci varie entre 1549  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (forage F15) et 2460  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (forage F9). Toutes les valeurs ne dépassent pas la norme algérienne de potabilité fixée à 2800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mais ils dépassent les normes O.M.S. fixée à 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Tab.1).

Les conductivités sont élevées indiquant une forte minéralisation avec toutefois une tendance à diminuer avec la profondeur en allant de la nappe phréatique vers la nappe des calcaires (BOUCHEMAL et ACHOUR, 2015).

La salinisation est causée par la dissolution des gypses et la forte évaporation des eaux, due au climat semi-aride de la région (RAHMANI, 2016).



**Figure 21.** Variation de la conductivité électrique dans les eaux de forages



**Figure 22.** Variation de la conductivité électrique dans les eaux de puits

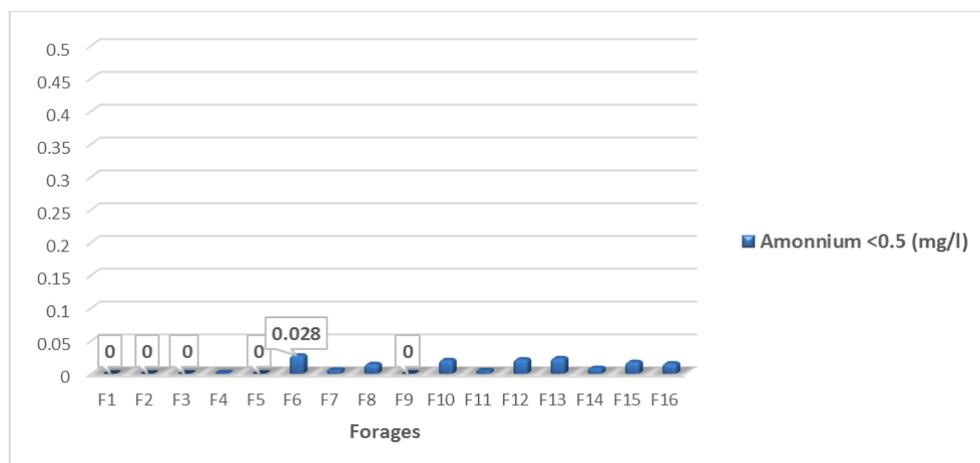
## 2. Paramètre de pollution

### 2.1. Ammonium

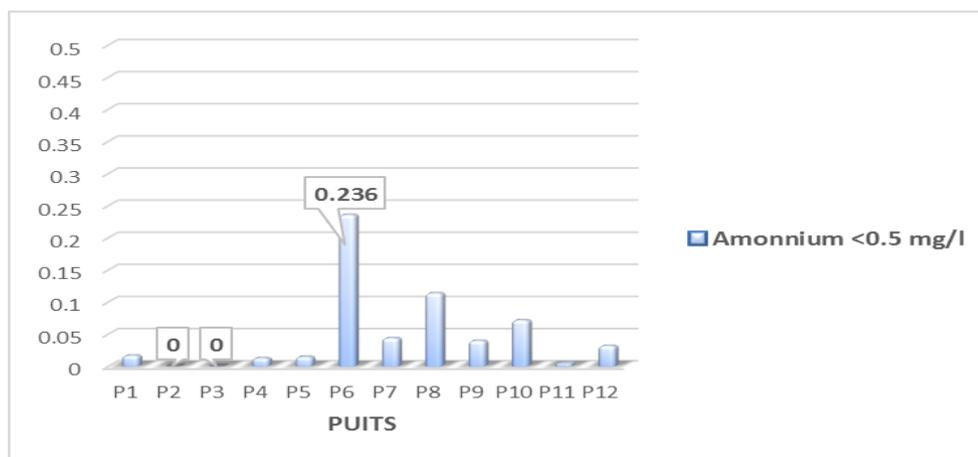
La concentration de l'ammonium varie entre 0 mg/l au (F1, F2, F3 et F9) et 0.028 mg/l au (F6). Donc elle ne dépasse pas les normes d'Algérie de l'eau potable et des eaux souterraines (0.5 mg/l) (Tab.1 ; 4). Mais on registrar la majorité des forages ils dépassent les normes O.M.S. fixée à 0 mg/l.

La teneur trouvée au niveau de nos eaux de puits étudiés est inférieure à 0.24 mg/l, elle est dans la norme prescrite.

L' $\text{NH}_4^+$  dans l'eau traduit habituellement un processus de dégradation incomplet de la matière organique. Il s'agit donc d'un excellent indicateur de la pollution de l'eau par des rejets organiques d'origine agricole, domestique ou industrielle (L.B.M, 2017).



**Figure 23.** Histogramme des variations de l'Ammoniumde forages.



**Figure 24.** Histogramme des variations de l'Ammonium de puits.

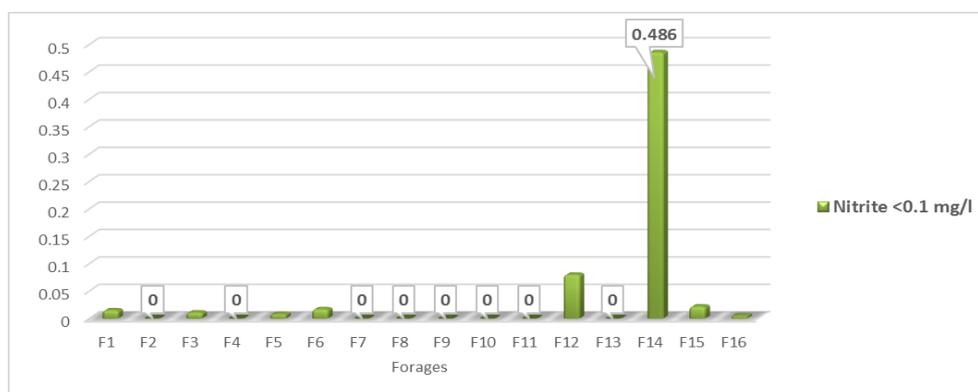
## 2.2. Nitrite

Dans notre étude, les nitrites ont été détectés dans les eaux des 16 forages, indique le forage présent de teneur supérieure à la normale ( $0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (Fig.25).

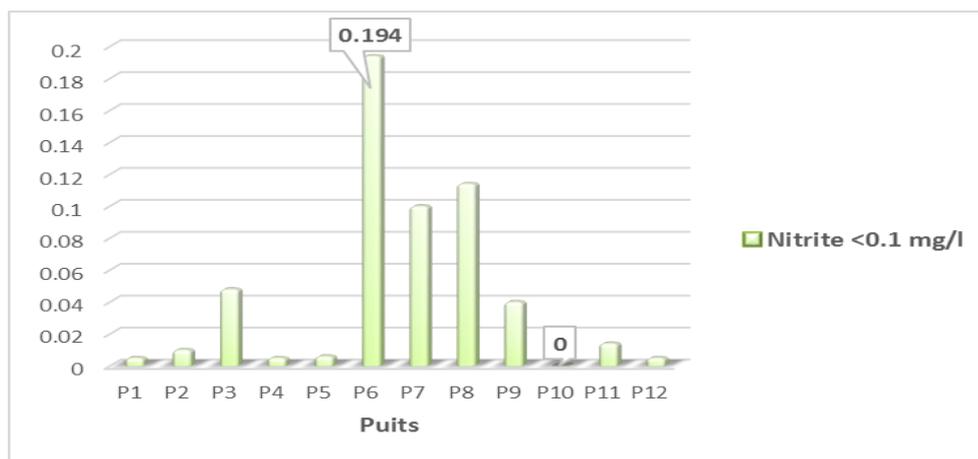
La figure 26 montre la variation des teneurs en nitrites dans la zone d'étude. On remarque sur cette figure que la teneur en nitrites varie au cours de l'étude de  $0 \text{ mg.l}^{-1}$  (P10) à  $0,194 \text{ mg.l}^{-1}$  (P6) dont deux puits (P6 et P8) présentent des teneurs supérieures à la normale ( $> 0,1 \text{ mg.l}^{-1}$ ) (Tab. 1).

La pollution nitrique de ces eaux souterraines étudiées serait due aux déchets des animaux, au fumier ou aux engrais chimiques utilisés dans la fertilisation des terres agricoles avoisinantes.

Les ions  $\text{NO}_2^-$  sont aussi très rares dans les eaux, leur excès est dû en général à des infiltrations d'eaux sales depuis la surface (stockage de déchets, eaux usées, cimetières, ...) (L.B.M, 2017).



**Figure 25.** Variation de la teneur en nitrites dans les eaux de forages.



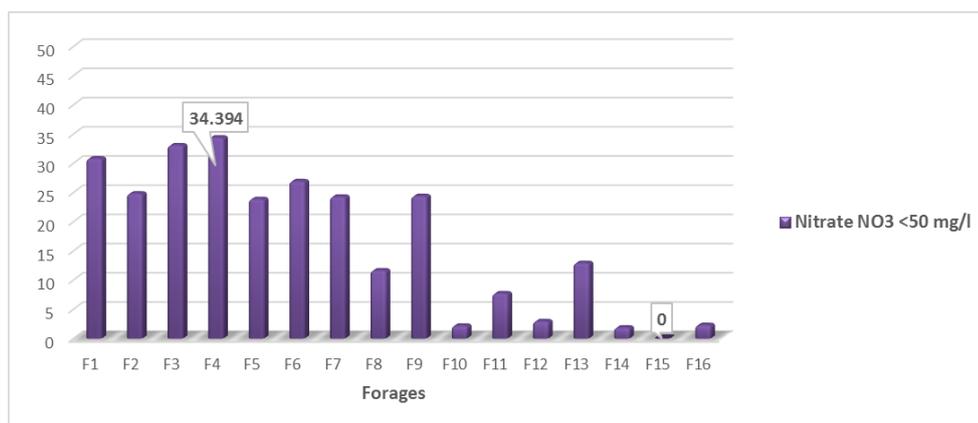
**Figure 26.** Variation de la teneur en nitrites dans les eaux de puits.

### 2.3. Nitrates

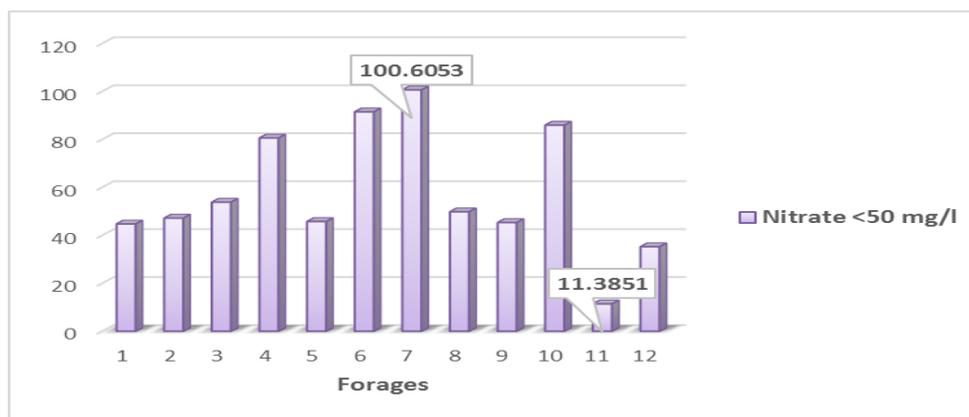
Les teneurs en nitrates observées dans les forages, sont relativement moyennes à très faible (Fig.27). Elles sont inférieures aux normes Algériennes d'eau potable et O.M.S. et des eaux souterraines (50 mg/l) (Tab. 1 ; 4).

La figure 28 montre la variation des teneurs en nitrites dans la zone d'étude, on remarque sur cette figure que la teneur en nitrates varie au cours de l'étude de 11.38 mg.l<sup>-1</sup> (P11) à 100.60 mg.l<sup>-1</sup> (P7), dont cinq puits (P3, P4, P6, P7 et P10) présentent des teneurs supérieures à la normale (> 50 mg.l<sup>-1</sup>) (Tab. 1 ; 4).

La plage de concentration rencontrée s'étale entre 0.3 mg/l et 20.72 mg/l. Elles ne dépassent pas les normes Algérienne et O.M.S. de l'eau potable et des eaux souterraines (50 mg/l) (Tab. 1 ; 4).



**Figure 27.** Variation de la teneur en Nitrates dans les eaux de forages.



**Figure 28.** Variation de la teneur en Nitrates dans les eaux de puits

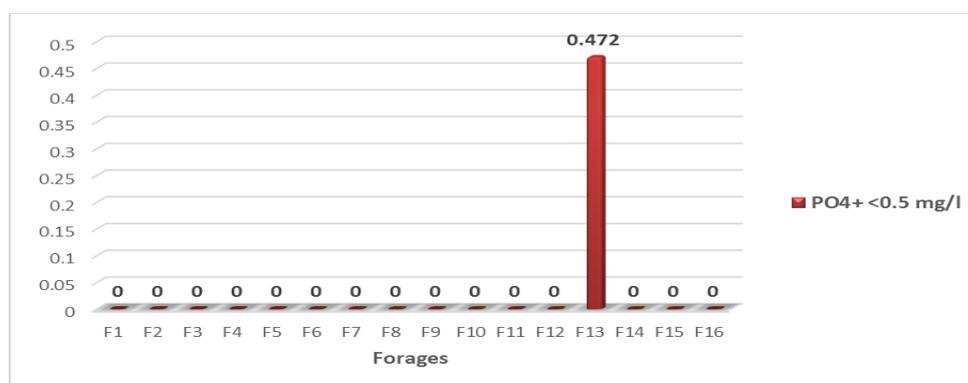
Les ions  $\text{NO}_3^-$  sont naturellement rares dans les eaux, leur excès est dû en général aux pratiques agricoles intensives (engrais et épandage des lisiers notamment), mais des infiltrations d'eaux usées sont parfois responsables (L.B.M, 2017).

#### 2.4. Ortho-Phosphate

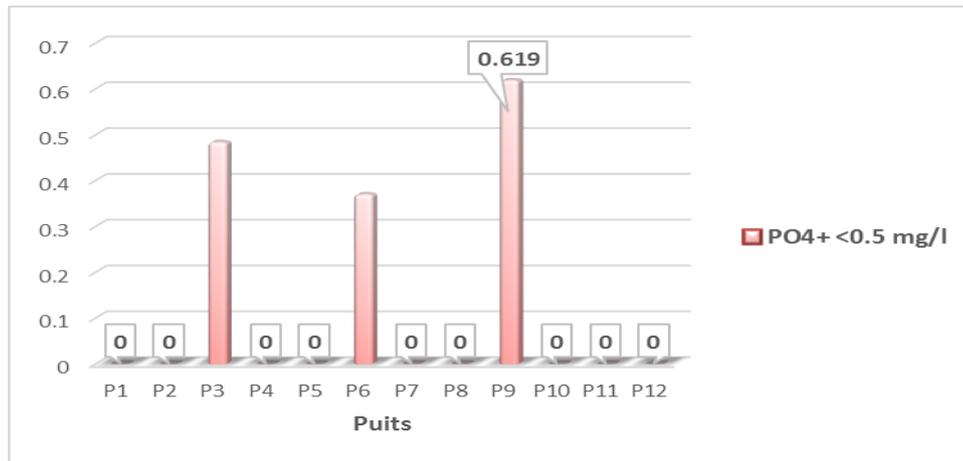
L'analyse des eaux de forages a révélé que la valeur maximale de Ortho-phosphate en eaux de forages étudiés est inférieure la norme algérienne de l'eau potable (0.5 mg/l) (Fig.29).

Dans notre cas les eaux des puits étudiés, les valeurs enregistrées varient entre 0 mg/l (P1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11 et 12) à 0.619 mg/l (P9). Toutes ces valeurs de  $\text{PO}_4^+$  sont en dessous de la norme prescrites par la réglementation Algérienne qui fixent une valeur maximale admissible de 0.5 mg/l (Tab.1), sauf le puits (P9) qui présente une forte concentration (0.619 mg/l) (Fig. 30).

Leur présence dans certains puits situés dans des endroits non raccordés au réseau d'assainissement est probablement liée à la matière organique, provenant des eaux usées. On considère généralement que les variations des concentrations des phosphates constituent l'élément limitant des phénomènes d'eutrophisation (REFEA, 2003).



**Figure 29.** Variation de la teneur en Ortho-Phosphates dans les eaux de forages

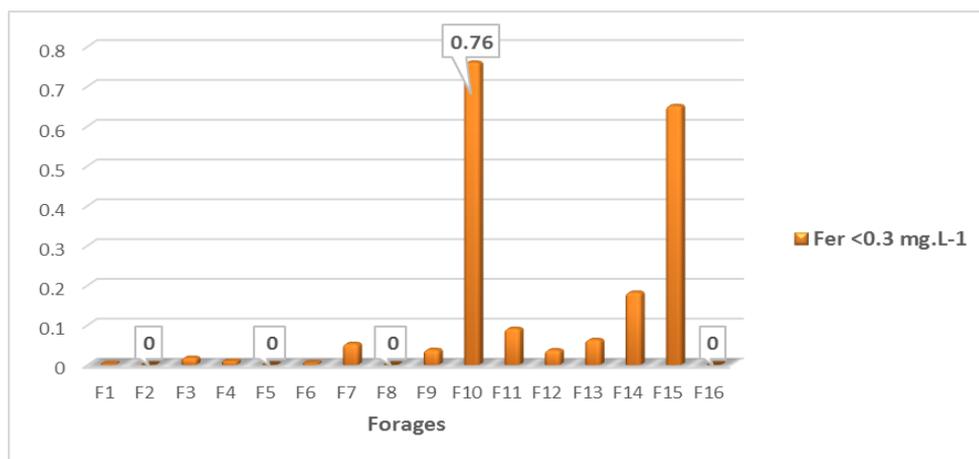


**Figure 30.** Variation de la teneur en Ortho-Phosphates dans les eaux de puits.

### 2.5. Fer

Les résultats indiquent que l'élément de fer présente des teneurs réduites, on remarque que la valeur la plus faible est 0 mg/l aux forages (F2, F5, F8 et F16), mais nous avons enregistré deux forages dont leurs valeurs sont au-dessus des normes (F15) 0.651 mg/l et (F10) 0.76 mg/l (Fig.31).

Le fer est le quatrième élément abondant dans l'écorce terrestre et le premier parmi les métaux lourds. Il peut se rencontrer dans l'eau sous différentes formes. Dans les conditions habituelles, c'est-à-dire un pH variant entre 4.5 et 9, le fer soluble est présent, et est généralement à l'état ferreux ( $Fe^{++}$ ). Si le milieu est réducteur, comme dans beaucoup d'eaux souterraines, le fer ferreux peut atteindre des teneurs élevées (GOUADIA, 2018 ; RODIER *et al.*, 2009).



**Figure 31.** Histogramme des variations du Fer des forages.

### 3.Minéralisation globale

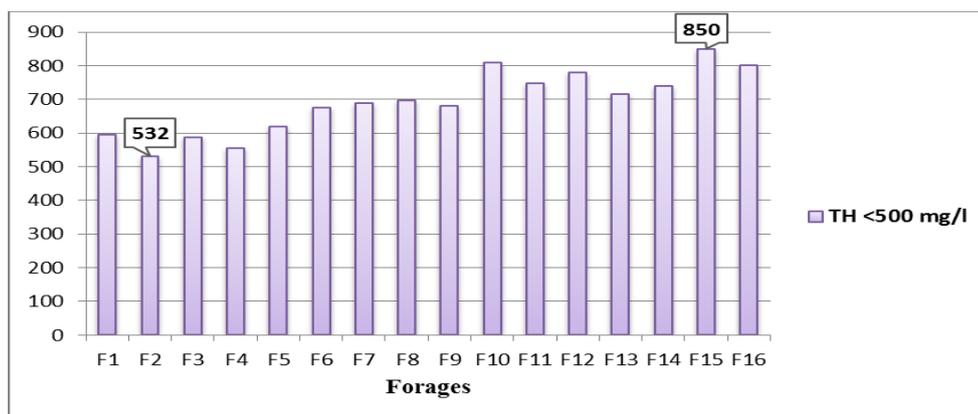
#### 3.1.Dureté totale

Titre hydrométrique (T.H.) ou la dureté totale d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception des métaux alcalins ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et des ions hydrogènes. Dans la plupart des cas, la dureté est due aux ions calcium et magnésium (RODIER et *al.*, 2009 ; DE VILLERS et *al.*, 2005).

La dureté est le plus généralement exprimée en milligrammes de carbonate de calcium équivalents par litre, à plus ou moins 60 mg par litre de carbonate de calcium, une eau est généralement considérée comme douce. Bien que la dureté soit provoquée par des cations.

On remarque que les valeurs plus faible sont enregistrées au F2 (532 mg/l), et plus élevé au F15 (850 mg/l) (Fig.32).

La dureté totale de l'eau de puits est comprise entre 764mg/l (P2) et 3104 mg/l (P7) (Fig.33). Elles ne répondent pas aux normes indiquées par la réglementation Algérienne et O.M.S. (Tab.1).



**Figure 32.** Variation de la dureté totale dans les eaux de forages.



**Figure 33.** Variation de la dureté totale dans les eaux de puits.

La dureté de l'eau correspond à sa teneur en sels minéraux, elle est donc surtout en relation avec la composition des sols que l'eau a traversé.

Dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  auxquels s'ajoutent quelquefois les ions  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  et  $\text{Sr}^{2+}$ . La variation de la dureté totale constatée dans les eaux souterraines peut être liée à la nature du sol dans la région (BENHEDID, 2014)

### 3.2. Calcium

Le calcium est un métal alcalin terreux ; composant majeur de la dureté de l'eau. Sa teneur varie essentiellement selon la nature des terrains traversés (RODIER *et al.*, 2009). Le calcium est retrouvé dans les eaux qui ont traversé des roches calcaires. Avec le magnésium, il est responsable de la dureté de l'eau (QUENEAU et HUBERT, 2009).

D'après les normes Algériennes et l'O.M.S. de potabilité pour le calcium, fixées à  $200 \text{ mg.l}^{-1}$  (Tab.1), 60% des puits étudiés présentent des teneurs élevées en  $\text{Ca}^{++}$  qui sont supérieures aux normes durant la période d'observation. Les concentrations varient entre  $110.62 \text{ mg.l}^{-1}$  (P4) à  $548.294 \text{ mg.l}^{-1}$  (P5) (Fig.35).

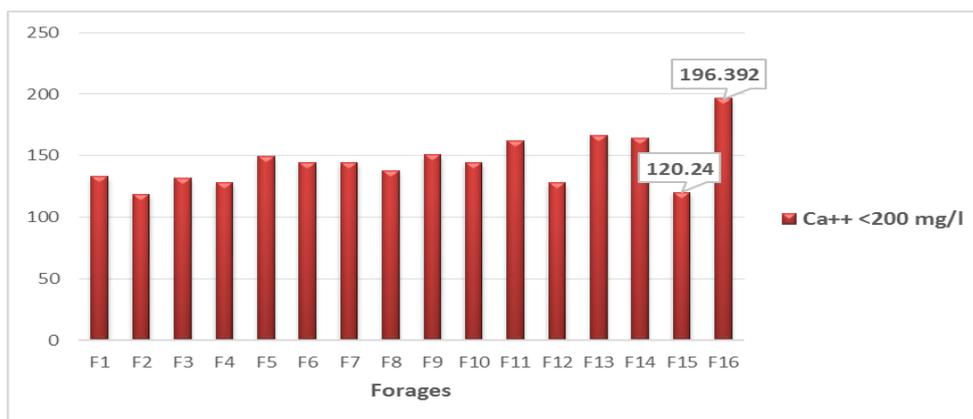


Figure 34. Histogramme de calcium des forages.

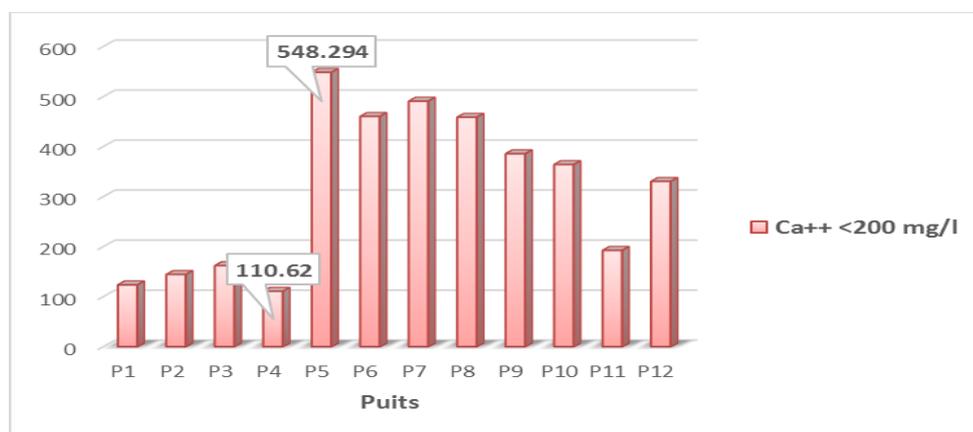


Figure 35. Histogramme de calcium des puits.

Selon RODIER *et al.*, (2009), les eaux qui dépassent  $200 \text{ mg.l}^{-1}$  de calcium, présentent des inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation.

Ces fortes concentrations du calcium témoignent des passages de calcaire qui libère les ions sous l'action de la circulation des eaux souterraines (BOUALLA et SAAD, 2011). Cette pollution peut être aussi d'origine industrielle et urbaine (BOUCHELAGHEM et *al.*, 2014).

Pour l'eau des forages étudiée les valeurs de calcium trouvées sont comprises entre 120.24 et 196.392 mg/l (Fig.34) avec un moyen environ 144.98 mg/l. Ce résultat est conforme aux normes Algériennes et O.M.S.

La concentration très élevées de calcium dans la plupart des puits auraient pour origine la dissolution des formations carbonatées ( $\text{CaCO}_3$ ) et des formations gypseuses ( $\text{CaSO}_4$ ) qui sont facilement soluble (AÏT BOUGHROUS, 2007 ; DJIDEL, 2008 ; GOUADIA, 2008 ; DIB, 2009 ; BOUTTELI, 2011 ; BENHEDID, 2014).

Le calcium joue un rôle essentiel dans la constitution des squelettes et des coquilles, dans les phénomènes de perméabilité cellulaires. Il est concentré par les problèmes de potabilité (AÏT BOUGHROUS, 2007).

### 3.4.Magnésium

Le magnésium est un des éléments les plus répandu dans la nature, il constitue environ 2.1% de l'écorce terrestre. Son abondance géologique et sa grande solubilité, font que les teneurs dans l'eau peuvent être importantes. C'est un élément significatif de la dureté de l'eau, il donne un gout désagréable à l'eau (RODIER et *al.*, 2009).

Selon les normes Algériennes de l'eau potable pour le magnésium, fixées à 150 mg.l<sup>-1</sup> et les normes O.M.S. fixées à 100 mg.l<sup>-1</sup> (Tab.1), Les valeurs enregistrées dans la majorité des puits dépassent ces normes avec un maximum de 486.504 mg.l<sup>-1</sup> (P9), alors la valeur minimale est de 98.172 mg/l (P2) (Fig.37).Le moyen de  $\text{Mg}^{++}$  dans les eaux des puits étudiées est 307.74 mg/l.

Notre eau de forages présente des teneurs importantes de magnésium (Fig.36), la qui exige une concentration de 150 mg/L au maximum, avec une moyenne de 80.19 mg/l.

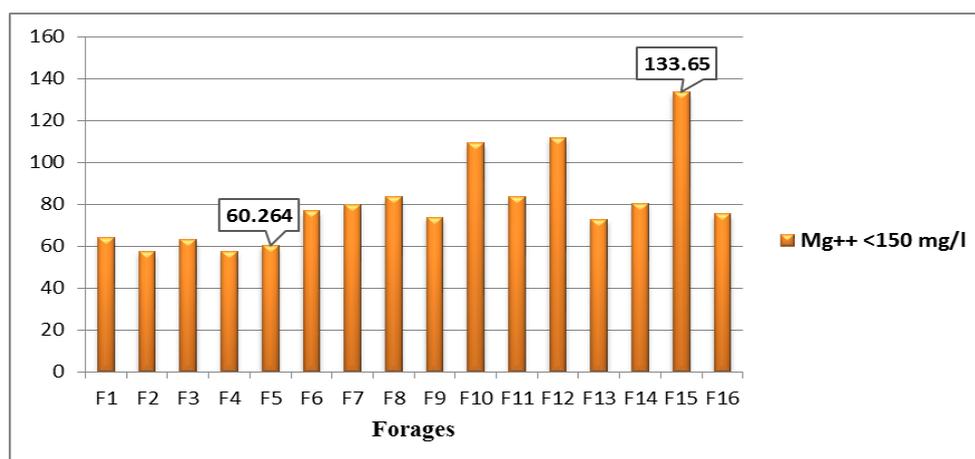


Figure 36. Histogramme de magnésium des forages.

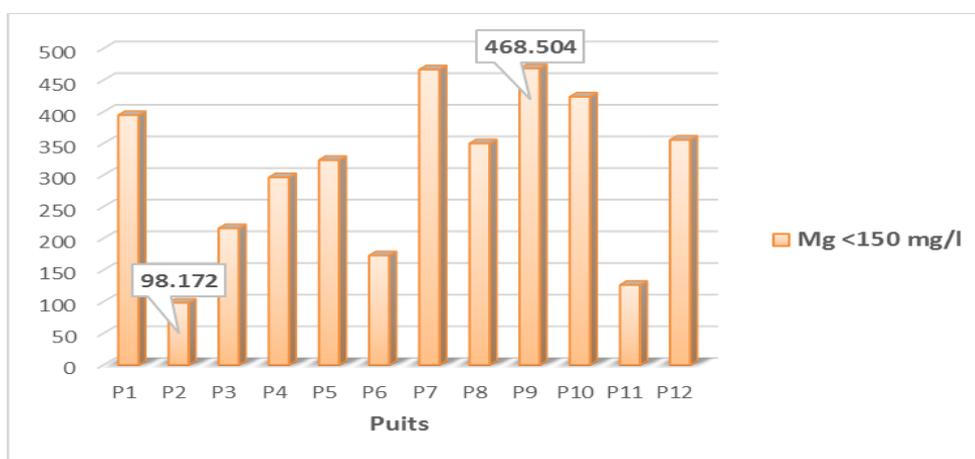


Figure 37. Histogramme de magnésium des puits.

Les ions de  $Mg^{++}$  proviennent, comme les ions calcium, de la dissolution des formations carbonatées riches en magnésium (dolomites) d'une part, et les formations salifères riches en magnésium " $MgSO_4$ " d'autre part (GOUAIDIA, 2008 ; DJIDEL, 2008 ; DIB, 2009 ; RODIER et *al.*, 2009 ; BOUTTELI, 2011 ; BENHEDID, 2014). Selon NOUAYTI et *al.*, (2015), La source du magnésium semble être liée au contact des eaux avec les roches calcaires et dolomitiques.

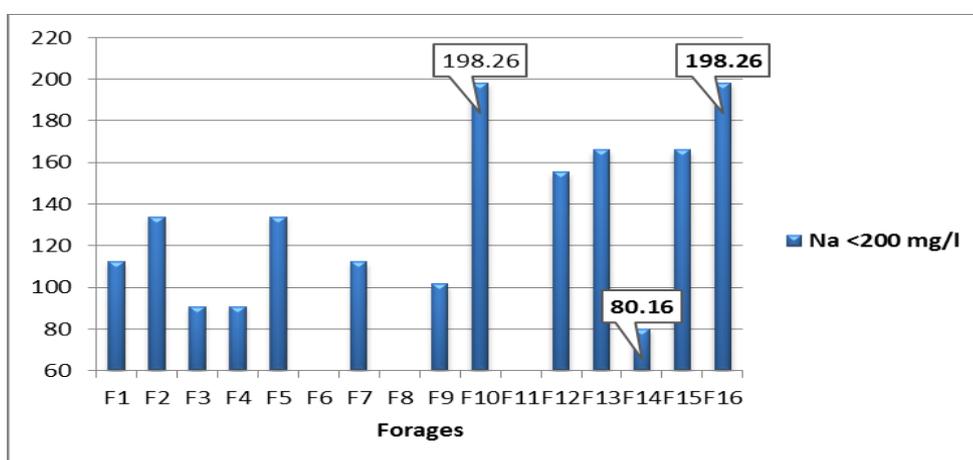
### 3.5. Sodium

Le sodium est le sixième élément le plus abondant dans la croûte terrestre. Il provient essentiellement de la dissolution de l'Halite. Le sodium est nécessaire pour le fonctionnement des muscles et des nerfs, mais trop de sodium peut augmenter le risque d'hypertension artérielle. On note aussi les eaux trop chargées en sodium devient saumâtre prennent un goût désagréables. Pour des considérations liées à des critères gustatifs (FENNICH, 2016).

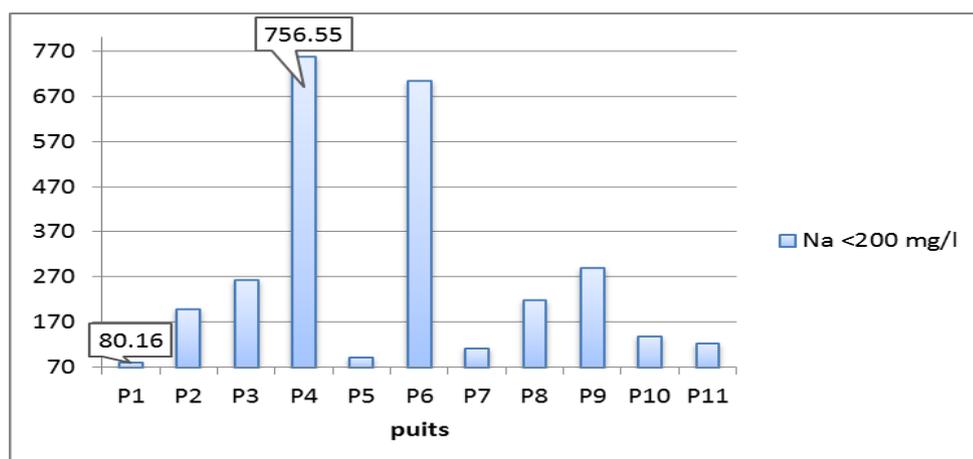
La teneur de  $\text{Na}^+$  dans les eaux de continental intercalaire de la vallée de M'Zab varie entre 80.164 mg/l (P1) et 756.551 mg/l (P4) (Fig.39). la moté des puits ont dépassé les normes Algériennes et O.M.S. de l'eau potable (200 mg/l) (Tab. 1).

Résultats d'analyse du laboratoire pour l'eau des forages permet de constater des teneurs en sodium conformé à les normes (<200 mg/l) (Fig.38).

L'origine de cet élément est liée principalement à la dissolution de l'Halite ( $\text{NaCl}$ ) (BOUTTELI, 2011). Indépendamment de la lixiviation des formation géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition des sels minéraux, comme les silicates de sodium et d'aluminium (RODIER *et al.*, 2005).



**Figure 38.** Histogramme de sodium des eaux de forages.



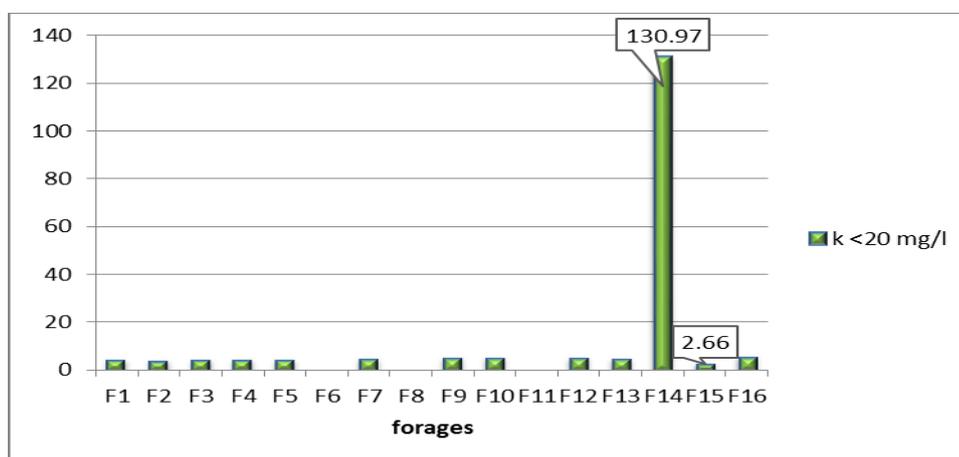
**Figure 39.** Histogramme de sodium des eaux de puits.

### 3.6.Potassium

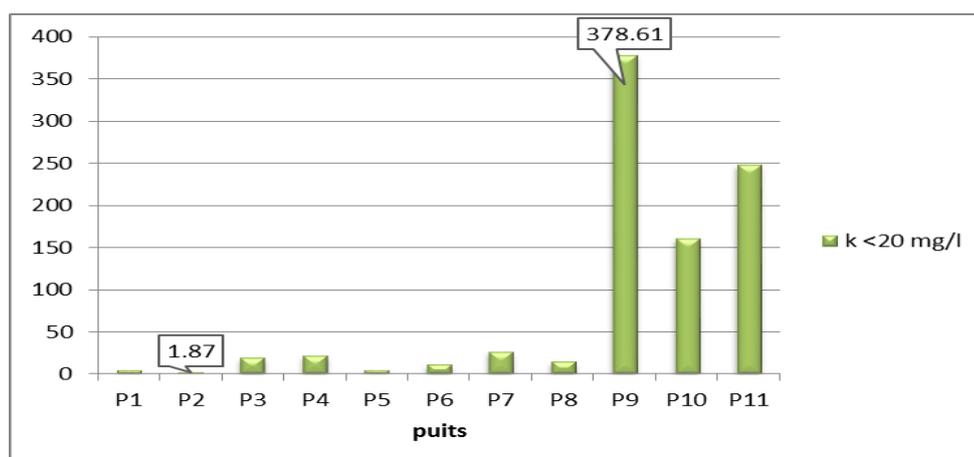
Le potassium est un élément chimique, sa réaction avec l'eau est d'ailleurs bien plus forte que celle du sodium (FENNISH, 2016).

La teneur en potassium dans les eaux naturelles est de l'ordre de 10 à 15 mg/l. A cette concentration, le potassium ne présente pas d'inconvénients pour la santé des individus. Le seuil de perception gustative est variable suivant le consommateur, se situe aux environs de 340 mg/l pour les chlorures de potassium (RODIER, 1996).

La teneur de Potassium ( $k^+$ ) dans les eaux du continental intercalaire (C.I.) de la vallée de M'Zab varie entre 1.871 mg/l et 378.61 mg/l (Fig.41). Les puits (P4, P7, P9, P10 et P11) dépassent les normes Algérienne et l'O.M.S. de l'eau potable (20 mg/l) (Tab. 1)



**Figure 40.** Histogramme de Potassium des eaux de forages.



**Figure41.** Histogramme de Potassium des eaux de puits.

Pour ce qui est des teneurs en Potassium ( $k^+$ ), les résultats des échantillons des forages montrent des valeurs peu élevées se situent en dessous de 20 mg/l qui constitue la norme

Algérienne de l'eau potable; Seulement un forage où le résultat était supérieur à les normes algérienne de l'eau potable.

Selon GOUADIA (2006) ; DJIDEL (2006) ; BOUTTELI (2011), le potassium résulte de l'atération des argiles potassiques, des évaporites, en l'occurrence la Sylvite (Kcl) et sa présence peut être également liée au féversement des eaux usées.

### 3.7. Chlorure

Les concentrations en chlorures dans les eaux des puits analysées sont généralement importantes. En période hivernale, les valeurs oscillent de 218.39 mg.l<sup>-1</sup> (P2) à 1307 mg.l<sup>-1</sup> (P7) (Fig.43). 10 puits dépassent les normes Algérienne et O.M.S. de l'eau potable (Tab. 1).

La teneur de Cl<sup>-</sup> dans les eaux des forages de la vallée de M'Zab est varié entre 460.889 mg/l (F16) et 141.812 mg/l (F15) (Fig.42), elle reste conforme aux normes de notre pays qui fixe une concentration maximale admissible de 500 mg/l.

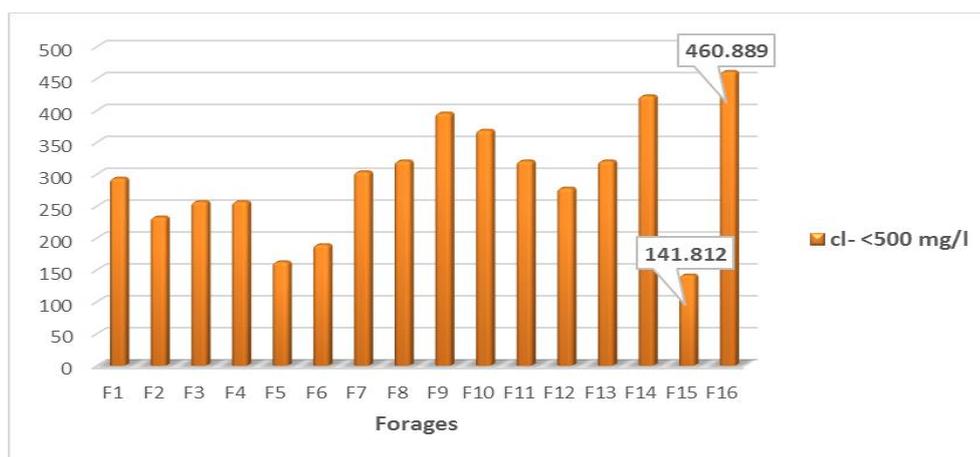


Figure 42. Histogramme de la concentration de chlorure des forages.

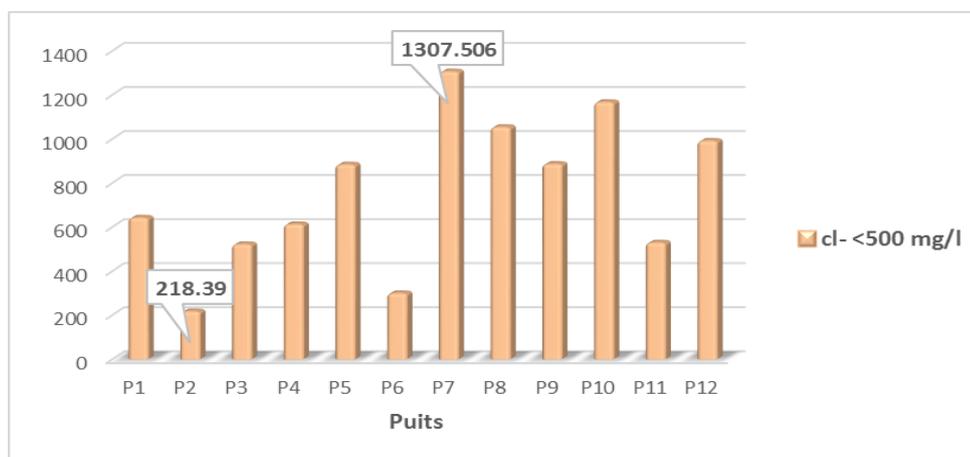


Figure 43. Histogramme de la concentration de chlorure des puits.

L'ion chlorure n'est pas adsorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution (CHAKER et *al.*, 2014). D'autre part, ANDREWS et *al.* 2009 ont mentionné que les ions chlorures, à une concentration supérieure à 250 mg.l<sup>-1</sup>, altère la saveur de l'eau, ce qui peut entraîner une dégradation de la qualité de l'eau.

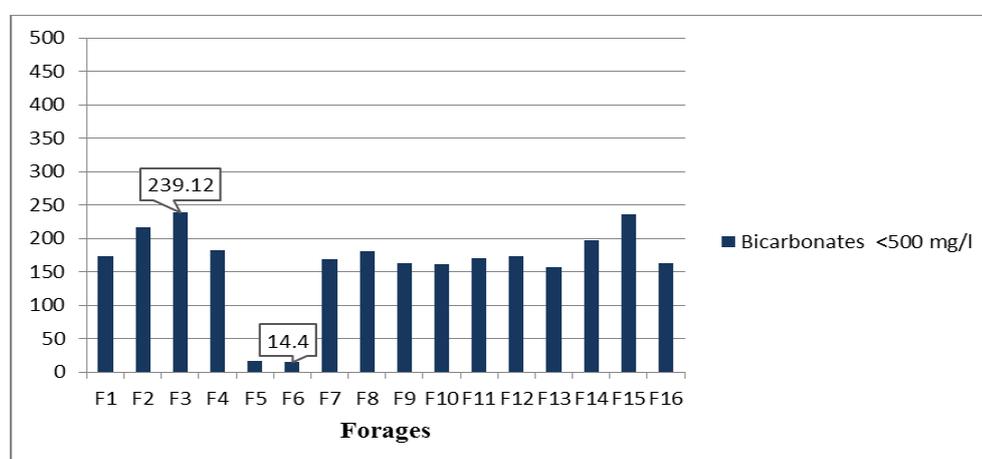
Les chlorures sont souvent naturellement présents dans les eaux souterraines, et certaines activités humaines peuvent accroître leur concentration, comme l'industrie agro-alimentaire et le creusage de puits près du littoral (l'eau de mer remplace peu à peu l'eau douce pompée). Dans l'eau, ils peuvent procurer un goût salé, notamment sous la forme chlorure de sodium (le sel de table) (L.B.M., 2017).

### 3.8. Bicarbonates

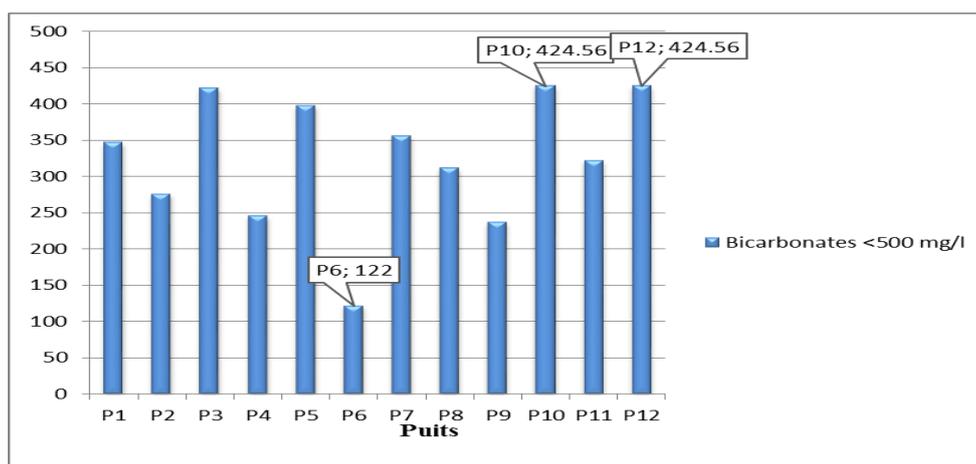
La présence du bicarbonate dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. D'après l'étude géologique et hydrogéologique les carbonate sont présent dans l'aquifère libre sur plusieurs formes, ciment pour les grés, des minces couches de calcaire etc (FENNICH, 2016).

Selon la figure (Fig.45), d'une façon générale, la bicarbonates varie entre une valeur minimale de 122 mg/l au niveau du puits(P6) et une valeur maximale 424.56 mg/l au niveau puits (P10 et P12) qui sont inférieures aux normes Algériennes; celles de l'O.M.S. (500 mg/l) (Tab.1). Le moyen de concentration de bicarbonate dans les eaux des puits étudiés est 323.91 mg/l.

la teneur du bicarbonate dans les eaux des forages (Fig.44) varient entre 14.4 mg/l(F6) et 239.12 mg/l (F3). Ces concentrations croissent de zone d'étude. Le moyen de concentration de bicarbonate dans les eaux des forages est 163.39 mg/l.



**Figure 44.** Variation de la Bicarbonates des eaux de forages.



**Figure 45.** Variation de la Bicarbonates des eaux de puits.

Les mesures de titre Alcalimétrique Complet de tous les forages et les puits respectent les normes de l'O.M.S. et Algérienne. ce qui indique que ces eaux sont acceptables par rapport à ces normes.

La présence des bicarbonates dans l'eau dans la zone d'étude aurait la même origine que celles du calcium et de magnésium, citées auparavant. elle est due à la dissolution des formations carbonatées par des eaux chargées en gaz carbonique (DJIDEL, 2008).

### 3.9. Sulfate

La concentration en ion sulfate des eaux naturelles est variables. La teneur de  $\text{SO}_4^{-2}$  dans les eaux des forages de la vallée de M'Zab est varié entre 162.15 mg/l (F4) et 550.65 mg/l (F15) (Fig.42). Elles dépassent les normes Algérienne et l'O.M.S. de l'eau potable (400 mg/l) (Tab. 1).

L'histogramme de teneurs des sulfates (Fig.47), montre des valeurs très élevées varient de 420.192 mg/l à 4170.64 mg/l, Les valeurs de sulfate mesurées dans les eaux de la nappe superficielle libre dépassent largement les normes.

Les sulfates peuvent être trouvés dans presque toutes les eaux naturelles : l'eau s'en charge en traversant les schistes et les gypses par exemple. Des apports industriels ont aussi lieu (BENHEDID, 2014).

Des concentrations importantes en sulfates dans l'eau que nous buvons peuvent avoir un effet laxatif important combiné avec le calcium et le magnésium, les deux composés majeurs de la dureté de l'eau (L.B.M., 2017).

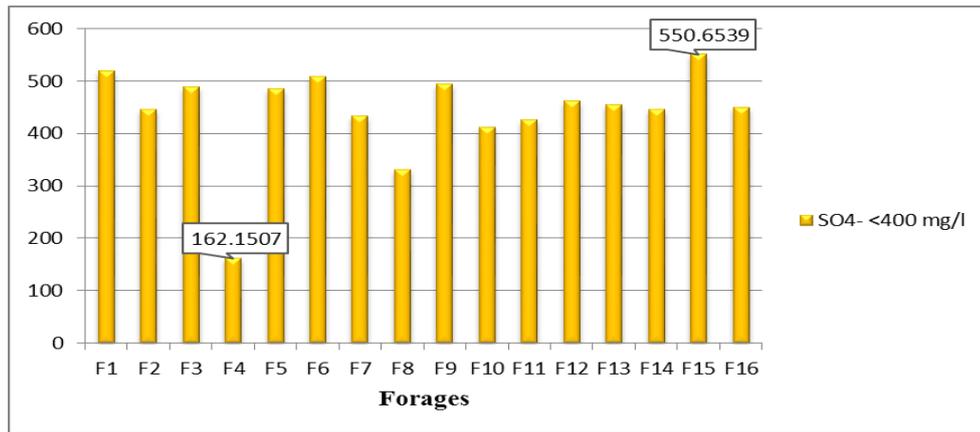


Figure 46. Histogramme de la concentration de sulfate des forages.

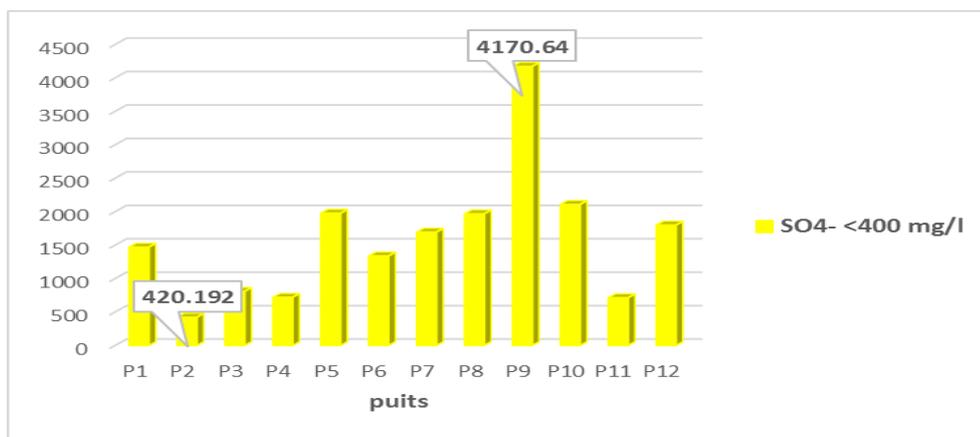


Figure 47. Histogramme de la concentration de sulfate des puits.

#### 4. Paramètres bactériologiques

Les analyses microbiologiques nécessitent 24, 48 ou 72 heures, selon les espèces à analyser. Elles servent à confirmer la qualité de l’eau gérée par des programmes de gestion et de risques qui doivent garantir une eau potable de bonne qualité au cours de toute l’année.

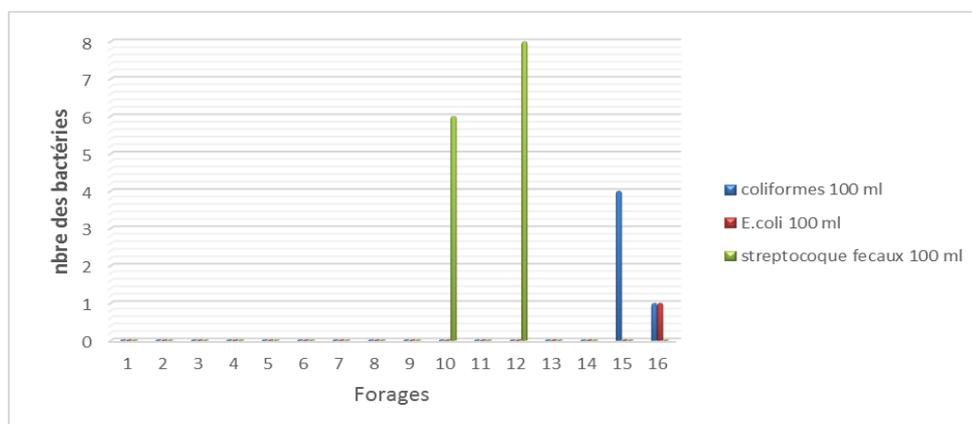
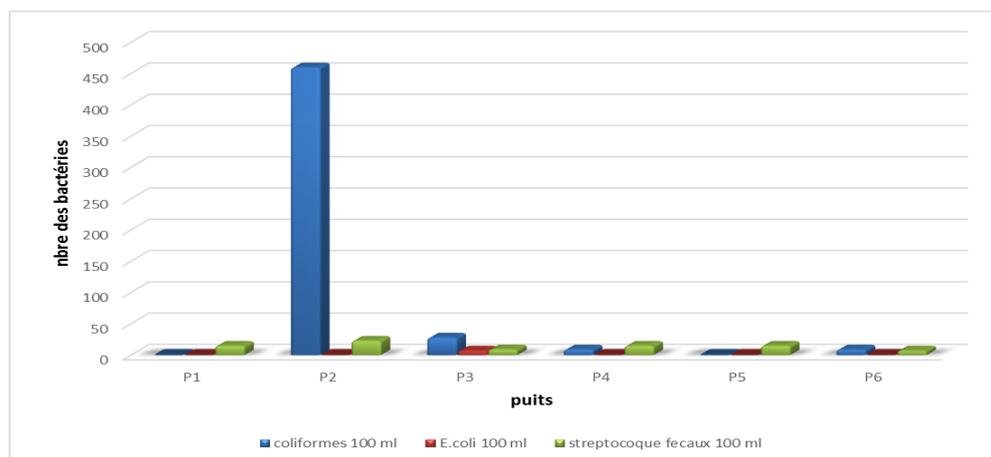


Figure48.Variation des Germes dans les eaux de forages.



**Figure49.**Variation des Germes dans les eaux de puits.

#### 4.1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont d'origine animale et humaine, leur présence dans l'eau indique une contamination récente par des matières fécales (CHEVALIER, 2003).

Les coliformes totaux sont des bactéries en forme de bâtonnet à gram négatif, facultativement anaérobie. Elles sont utilisées depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau.

La figure 49 montre la présence à des concentrations élevées des coliformes totaux dans les eaux de puits étudiés durant d'observations :

Deux puits étudiés renferment des coliformes totaux dans leurs eaux dont les valeurs varient entre 28 UFC.100 ml<sup>-1</sup> (P3) et 460 UFC.100 ml<sup>-1</sup> (P2).

Ces valeurs sont élevées en comparaison avec les normes de l'O.M.S. (1994) (<10 UFC.100ml<sup>-1</sup>) (Tab.2).

Tandis que la concentration maximale est obtenue au niveau les forages (4 UFC.100ml<sup>-1</sup>) (Fig.48).elle est inférieure en comparaison avec les normes de l'O.M.S. (1994) (<10 UFC.100ml<sup>-1</sup>) (Tab.2).

Cette contamination est causée par les rejets domestiques, par la proximité des puits avec des fosses septiques et par l'infiltration d'eau de surface dans les puits (AYAD, 2017 ; HAISSOUFI, 2011).

## 4.2. *Escherichia coli*

L'espèce *E.coli* permet de mettre en évidence une pollution d'origine fécale. Ce germe provient exclusivement des intestins d'animaux à sang chaud, y compris les humains et, sa présence est l'indicateur le plus précis de la contamination fécale (AYAD et KAHOU, 2016).

Dans la région d'étude, la numération des coliformes fécaux montre que 68% des puits contrôlés sont dépourvus de ces germes de contamination fécale, sauf un puit (P3) où il contient des *E.coli* en valeur de 7 UFC.100 ml<sup>-1</sup> (Fig.49).

D'après la figure n°48, nous avons remarqué que le taux d'*Escherichia coli* presque stable et elles sont compatibles à les normes Algérienne d'eau potable et O.M.S. fixée à 0 UFC.100 ml<sup>-1</sup> (Tab.2).

La présence des coliformes thermotolérants, signe l'existence quasi certaine de la contamination fécale d'une eau (RICHARD, 1996; FIGARELLA et LEYRAL, 2002; RODIER et al., 2009; EL HAISSOUFI et al., 2011 ; BENEHEDID, 2014). L'OMS (2004), énonce que la présence d'*E.coli*, apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente.

Les *E.coli* indiquent une pénétration d'eau usée dans l'eau potable, soit par le réseau d'assainissement ou par l'introduction d'eau de surface non traitée dans l'eau potable, ou il serait due au fumier, aux latrines et aux déchets de toute nature existants dans les terrains avoisinants les puits. Pouvant causer des maladies du système digestif chez l'homme.

## 4.3. Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont en grande partie d'origine humaine. Cependant, certaines bactéries classées dans ce groupe peuvent être trouvées également dans les fèces animales, ou se rencontrent sur les végétaux. Ils sont néanmoins considérés comme indicateurs d'une pollution fécale. et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils sont résistants à la dessiccation. Ils apportent donc une information supplémentaire sur une pollution. L'identification de streptocoques fécaux donnera une confirmation importante du caractère fécal de pollution (MEHANNED et al., 2014). 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 analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons d'eaux de puits montrent des taux élevés de streptocoques fécaux dans 70 % puits étudiés sont alors de mauvaise qualité (Fig.49).

Comme on le voit sur la figure 48, Le nombre de streptocoques fécaux varient d'eaux de forages de 0 UFC.100 ml<sup>-1</sup> à 8 UFC.100 ml<sup>-1</sup>. Mais elles sont compatibles à la norme Algérienne d'eau potable sans existe le chlore (cl) et norme O.M.S. (Tab.2).

D'après les travaux de YOUMBI et *al.*, (2013), la présence en nombre important de streptocoques fécaux dans les eaux de puits atteste la contamination des eaux par les matières fécales stockées dans les latrines.

## 5. Aptitude des eaux à l'irrigation

La qualité de l'eau d'irrigation varie en fonction de la nature et de la quantité des sels dissous (DADDI BOUHOUN, 1997). L'augmentation de ce dernier va créer plusieurs problèmes pour le sol et par la suite aux plantes.

Pour évaluer la qualité de ces eaux pour l'irrigation et les influences de ces eaux sur les sols et les cultures dans cette region, nous avons étudié : la salinité et alcalinité.

### 5.1. Risque de salinisation

La salinité de l'eau est exprimée par la conductivité électrique en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Elle permet de déterminer trois classes d'eau qui sont les suivantes :

- C3 ( $750 < \text{C.E.} < 2250 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) : Eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint. Les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées. Cette classe comporte plus de 76.9 % d'échantillons d'eaux forages analysés ; Et il contient un échantillon seulement sur l'ensemble des points d'eaux puits analysés. Ce point (P2);

- C4 ( $2250 < \text{C.E.} < 5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) : Eaux inutilisables normalement à l'exception des sols très perméables avec un bon drainage. Cinq échantillons d'eaux puits appartiennent à cette classe (P1, P3, P4, P6 et P11), et trois forages (F9, F13, F16).

- C5 ( $5000 < \text{C.E.} < 20000 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) : L'addition de cette classe par DURAND (1983), pour tenir compte des eaux sahariennes très salines qui sont supérieures à  $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ , la limite des 20000 a été choisie en tenant compte de la tolérance du palmier dattier. Cinq échantillons d'eaux puits appartiennent à cette classe (P5, P7, P8, P9 et P10),

Dans la région d'Oued M'Zab, la plupart des points d'eaux analysés appartiennent à la classe C3 avec un pourcentage de 45.83 % ; 33.33 % des points dans la classe C4, et 20.83 % seulement à la classe C5 (Fig. 50 ; 51).

## 5.2. Risque d'alcalinisation

La classification de SERVANT 1975, permet de déterminer le risque d'alcalinisation par classe en fonction du S.A.R. et de la C.E. des eaux sur le diagramme de RIVERSIDE (Fig.50 ; 51). Ils montrent quatre classes suivantes

- **classe 1** :elle représente la majorité des puits et forages étudiés (64% de puits) et (76.92 % des forages), ce sont des eaux utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation.

- **classe 2** : elle ne représente que 18.18 % de nombre total de points d'eau de puits (P2 et P3), et 23% des eaux de forages (F10, F12 et F15).Le danger d'alcanisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange. Cette eau est utilisable sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité;

- **classe 3** :un puit (P6) rejoint à cette classe. Cette classe représente des eaux pouvant provoquer l'apparition d'une alcanité dangereuse dans la plupart des sols, leur emploi exigera un bon drainage, fort lessivage, addition de matière organique.

- **classe 4** :le danger d'alcalinisation est très fort, de telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si leur faible salinité permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment. Elle ne représente que (P4) avec pourcentage de 9%.

## 5.3. Classification des eaux d'irrigation

Pour classer les eaux souterraines d'Oued M' Zab, nous utilisons la classification du laboratoire américain Riverside (USSL de RIVERSIDE, 1954). Pour s'adapter aux régions du Maghreb, en ajoutant une cinquième classe de salinité C5.

Les diagrammes de RIVERSIDE (Fig.50 ; 51) Parallèlement à la détermination du risque de d'alcalinisation permet de donner la classification des eaux d'irrigation en fonction des paramètres mesurés de la C.E. du S.A.R. ils nous ont permis de détecter six classes d'eau dans la vallée du M'Zab.

Après avoir reporté tous les points d'eau sur le diagramme de RIVERSIDE (RICHARDS, 1954) (fig.50 ; 51), selon la conductivité électrique et la valeur de S.A.R., on a pu dégager la présence des classes suivantes :

- **Les classes C3S1, C3S2** désignent les eaux admissibles pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés ou de bonne perméabilité dont la salinité doit être contrôlée (GOUAIDIA et *al.*, 2013). La classe C3S1 caractérise la majorité des forages, avec un

pourcentage de 77 %. alors que la classe C3S2 ne manifeste qu'un faible pourcentage 23 % et un puit (P2).

- Les classes C4S1,C4S2 indiquent les eaux médiocres fortement minéralisées, susceptibles de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés (GOUAIDIA et al., 2013).deux puits (P1 et P11) appartenant à la classe C4S1. La classe C4S2 est d'une sodicité plus importante. elle représente un seul puit (P3).

- Les classes C4S3 ; C4S4 :Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels. Le puit (P6) appartenant à la classe C4S3. Et la classe C4S4 représente un seul puit (P4).

- La classe C5S1 :avec un pourcentage de 55 % pour l'ensemble des puits, ce sont des eaux d'une salinité excessive, avec un danger d'alcalinisation faible.

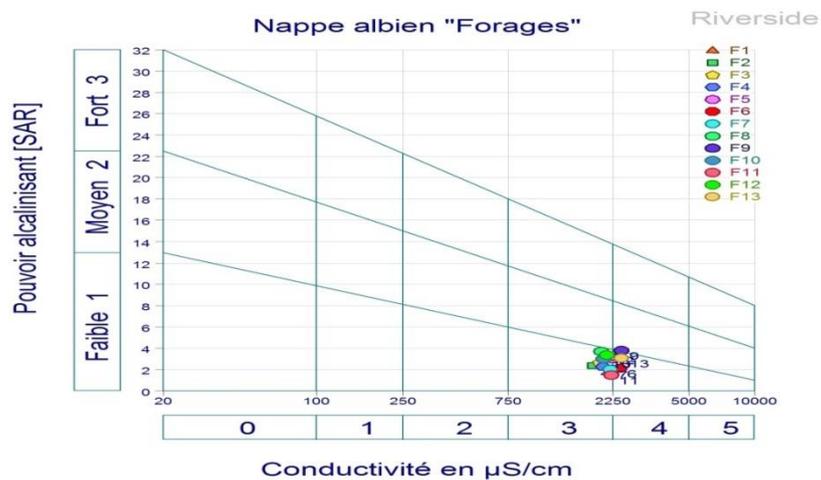


Figure 50. Qualité des eaux des forages d'irrigation dans la région d'étude en fonction de la C.E. et du S.A.R.

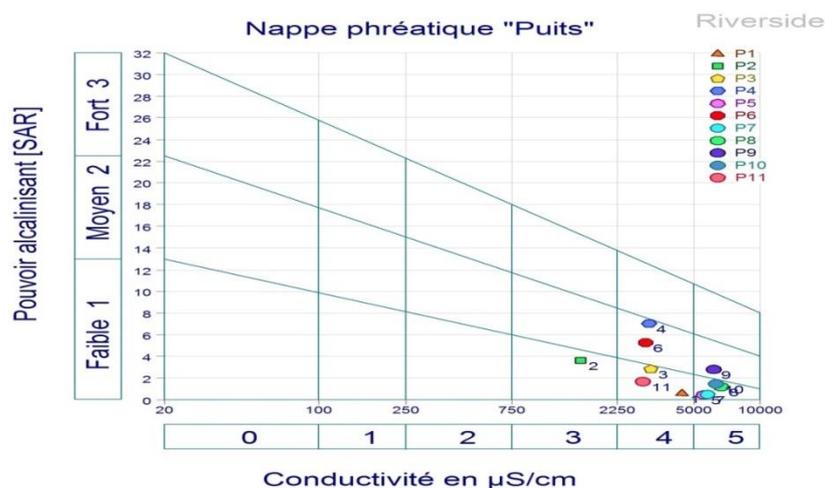


Figure 51. Qualité des eaux des puits d'irrigation dans la région d'étude en fonction de la C.E. et du S.A.R.

## Conclusion

---

L'eau constitue un élément essentiel pour l'organisme humain, et sa consommation journalière par tous implique une surveillance étroite tant sur le plan physico-chimique et bactériologique.

L'étude menée au cours de ce modeste travail a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la région de vallée de M'Zab.

La contamination aussi bien chimique que bactériologique des eaux de puits est bien présente.

Les eaux analysées de beaucoup de puits ont des propriétés physico-chimiques qui ne sont pas conformes aux normes locales et internationales notamment pour les paramètres suivants : la conductivité électrique, la dureté totale, les ions calcium et magnésium, le sulfate et le chlorure, et environ de 42 % des puits dépassent les normes locales et internationales pour nitrates (P3, 4, 6, 7 et 10), sodium (P3, 4, 6, 8 et 9) et potassium (P4, 7, 9, 10 et 11), et on remarque 3 puits (P3, 6 et 9) supérieure à les normes pour l'orthophosphates et deux puits (P6 et 8) pour le nitrites.

Sur le plan bactériologique, presque 83% des eaux de puits analysées sont souillées par les germes de contamination fécale et ne peuvent donc pas être consommées. Font qu'elles ne sont pas recommandées pour la consommation humaine.

Suite à la comparaison des résultats d'analyses, aux normes préconisées de l'O.M.S., et Algérienne l'évaluation physico-chimiques du point de vue potabilité des forages de vallée de M'Zab a indiqué que les eaux analysées sont conformes aux normes locales et internationales notamment pour les paramètres suivants : la conductivité électrique, pH, l'ammonium, les ions calcium et magnésium, les nitrates, le chlorure, et les bicarbonates.

Il existe aussi quelques éléments chimiques qui ne sont pas conformes aux normes locales et internationales notamment pour les paramètres suivants : Nitrites (F 14), orthoposphates (F 13), le fer (F 10 et 15), la dureté totale (tous les forages) et le sulfate (tous les forages sauf le forage 8).

## Conclusion

---

Sur le plan bactériologique, Il y a 2 sur 16 forages analysés sont souillés par les germes de contamination fécale et ne peuvent donc pas être consommés.

L'eau des forages de région de vallée de M'Zab est de qualité physico-chimique et bactériologique acceptable car les résultats des analyses sont conformes et en accord aux normes Algériennes ainsi que les règlements de l'O.M.S. et des eaux souterraines, cette qualité résulte de ce fait que cette forages étudiés est loin d'être pollué avec les rejets directs soit industriels ou des eaux usées domestiques.

Selon les analyses physiques et bactériologiques de deux points de prélèvement de puits et forages, une différence des résultats a été révélée entre les deux nappes de l'eau pour tous les paramètres.

La classification des eaux indique qu'ils sont de qualité acceptable pour l'irrigation, la majorité des forages de classe C3S1, ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation, seulement avec un suivi périodique. Nécessite un drainage avec doses de lessivage ou apports de gypse.

La moitié des puits échantillonnés (54.54 %) appartiennent aux la classe C5S1, la qualité des eaux des puits est mauvaise. Eau ne convenant pas généralement à l'irrigation, mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels.

Par ailleurs, il est vivement recommandé une surveillance accrue ponctuée par un contrôle rigoureux et régulier de cette matière sensible, tout au long de l'année. Ceci permet de préserver la qualité de l'eau de cette source et de se prémunir contre toutes formes de pollution.

Afin d'éviter tout risque sanitaire lors de la consommation de ces eaux et pour une meilleure maîtrise de cette pollution, il serait judicieux d'entreprendre les démarches suivantes :

- Faire un suivi périodique quantitatif et qualitatif des nappes par la mise en place d'un réseau de piézomètres ;
- Interdire toute réalisation de point d'eau dans les zones à forte exploitation ;

## Conclusion

---

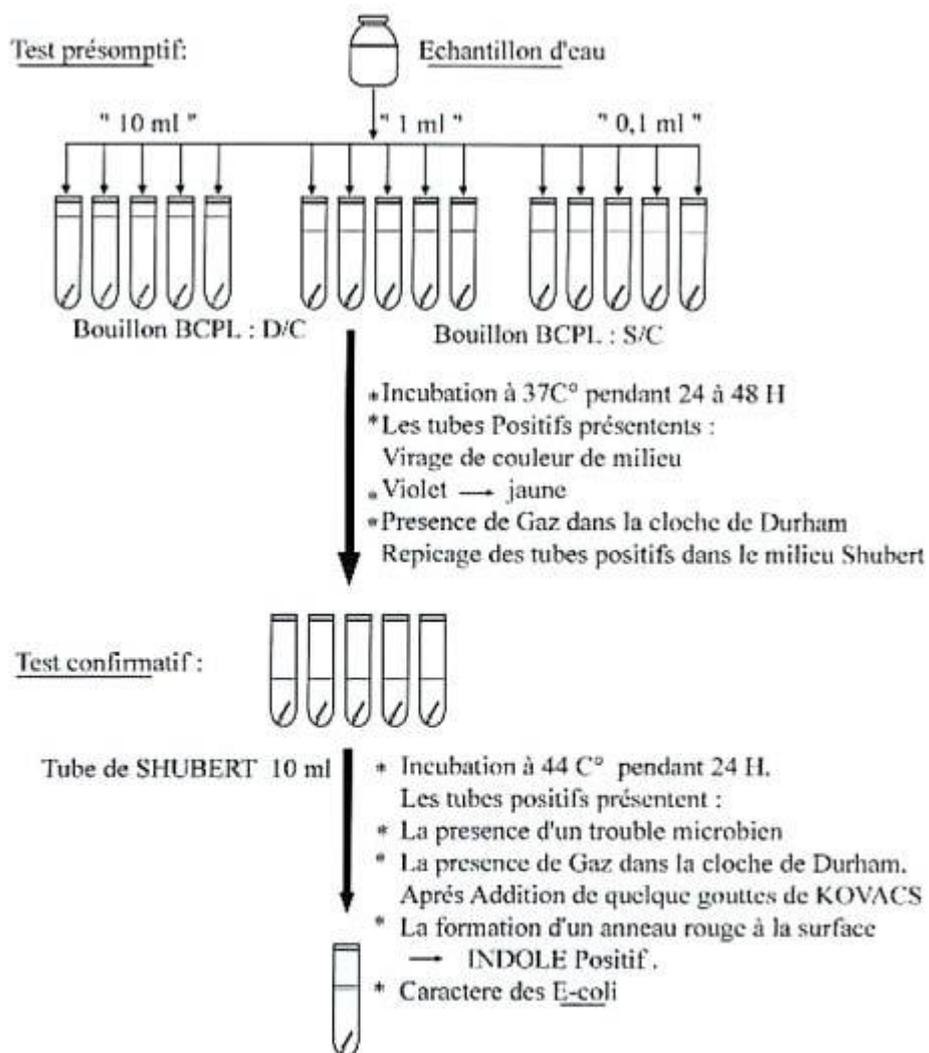
- Boucher tous les points d'eau abandonnés et qui présentent des anomalies d'équipement ;
- Sensibiliser les populations et les inciter à traiter l'eau des puits avant consommation ;
- Bien gérer les ordures ménagères et l'utilisation des fertilisants agricoles ;
- Mettre en place un réseau d'assainissement pour l'évacuation des eaux usées dans des endroits non raccordés au réseau d'assainissement

## *Tableau d'annexe*

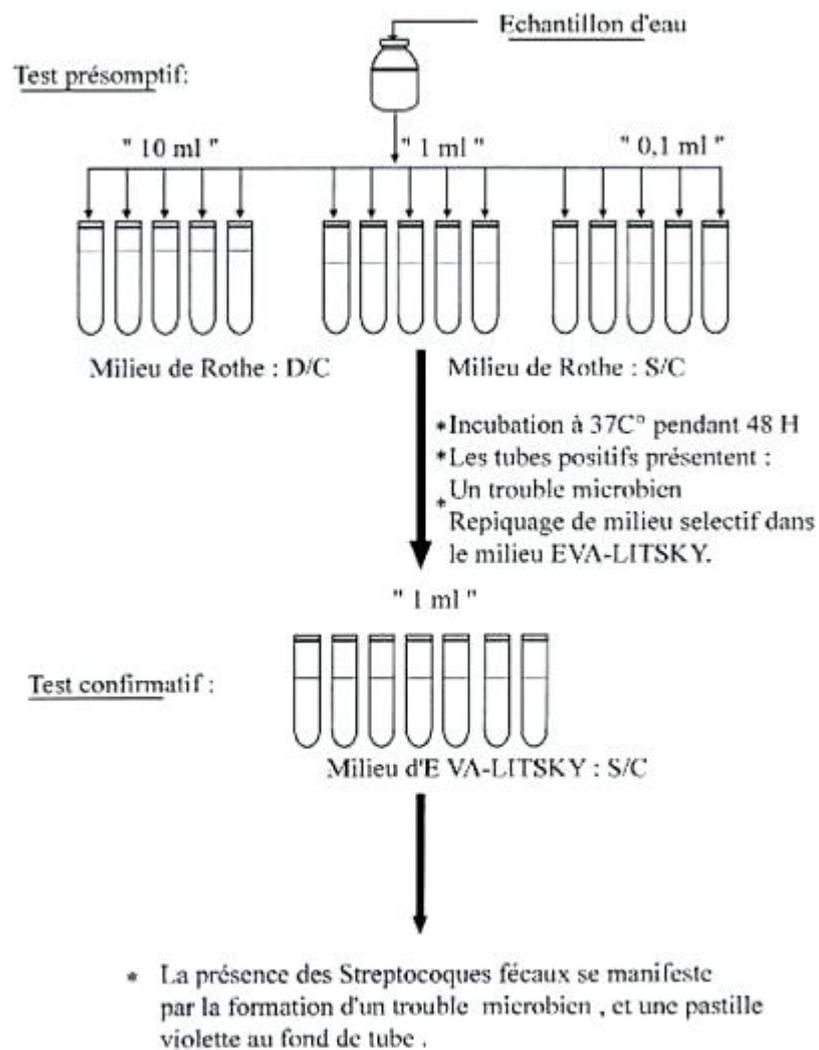
N°	Titre d'annexes
1	La méthode de recherche des coliformes totaux et e-coli et streptocoque fécal dans les forages
2	La méthode de recherche des coliformes totaux et e-coli et streptocoque fécal dans les puits
3	Milieux de culture
4	Photo de spectromètre à flamme
5	Photo de ph mètre
6	Photo conductimètre
7	Photo de turbidimètre
8	Spectrophotométrie ultra visible
9	Etuve
10	Etuve
11	Photo de recherche d'e-coli
12	Photo de Titrage de Calcium
13	Des échantillons
14	Photo de mesure du différent élément
15	Photo d'incubation des tubes à essais
16	Photo detest confirmatif des Streptocoques fécaux
17	Photo deTube (-) et (+) de recherche des Coliformes fécaux
18	Photo de bain marée
19	Photo de balance
20	Photo de dessiccateur
21	Photo de four
22	Photo de l' Et titrer avec l'E.D.T.A
23	Photo de forage
24	Photo de puits traditionnel
25	Mode d'opérateur des paramètres
26	Table de Mac Crady.Nombre le plus probable et intervalle pic confiance dans le cas du système d'ensemencement
27	Table MAC CREDY Nombre le plus probable et intervalle de confiance 3-3-3

## Annexes

### Annexe N° 1. La recherche des coliformes totaux et *E-coli* dans les forages

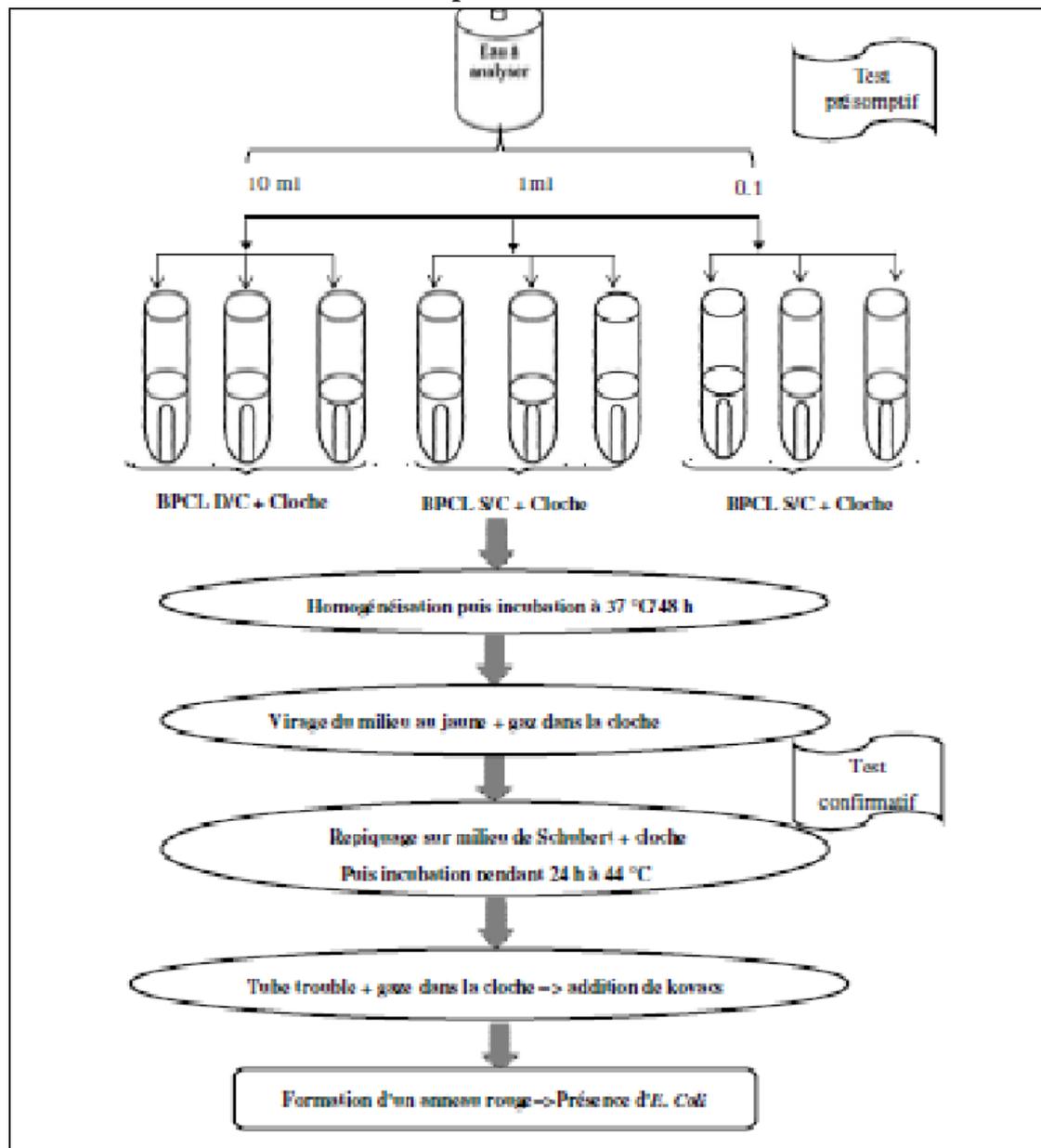


## La recherche du streptocoque fécal dans les forages

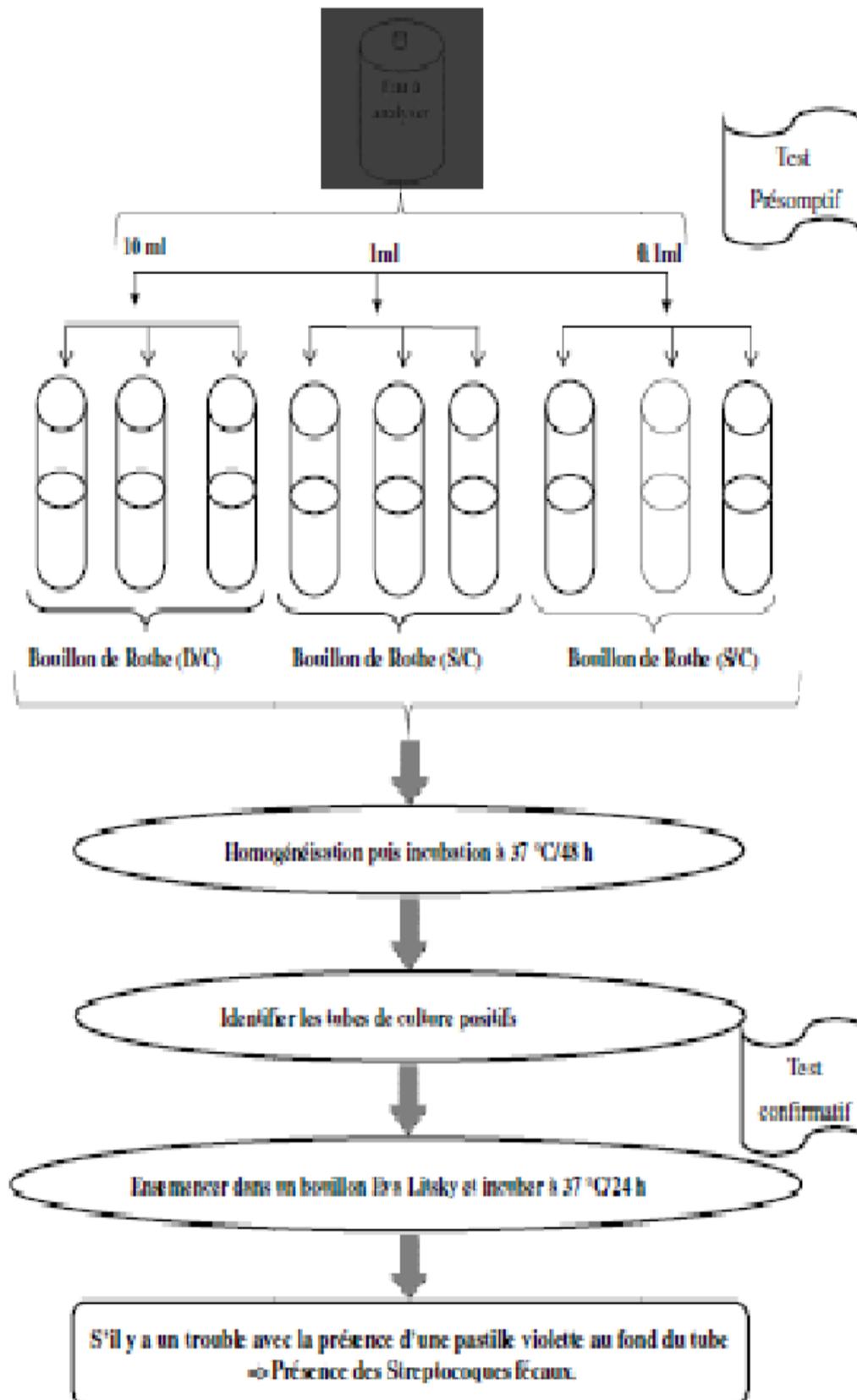


## Annexes

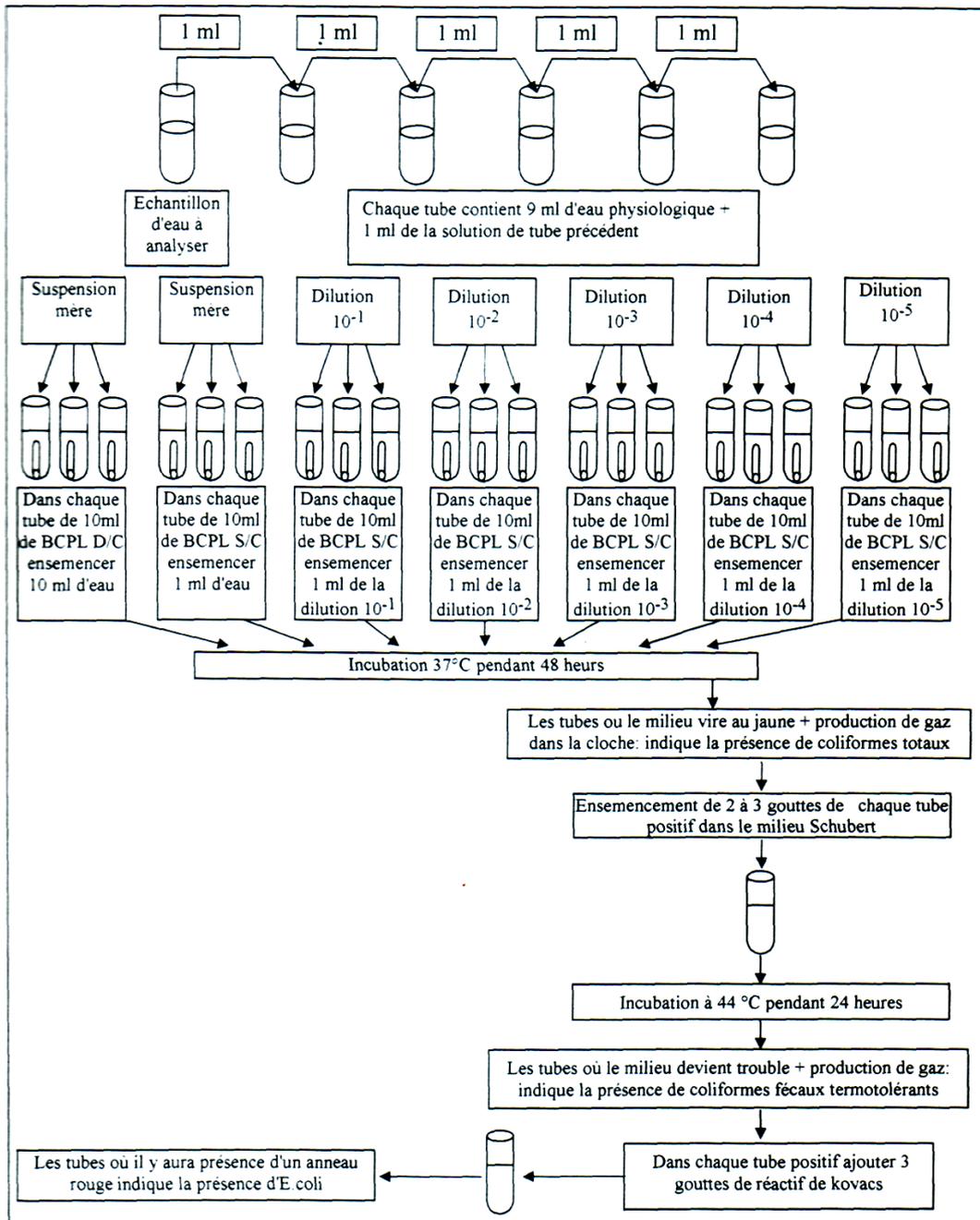
### Annexe N° 2. La méthode de recherche des coliformes totaux et e-coli dans les puits



La recherche du streptocoque fécal dans les puits



Recherche et dénombrement des Coliformes totaux et fécaux



# Annexes

---

## Annexe N°3. MILIEUX DE CULTURE

### Bouillon lactose au pourpre de bromocrésol (B.C.P.L)

#### a) Double concentration

Extrait de viande de boeuf.....	6g
Peptone .....	10 g
Lactose .....	10g
Pourpre de bromocrésol.....	0.06 g
Eau distillée .....	1000 ml

#### b) Simple concentration

Extrait de viande de boeuf.....	3g
Peptone .....	5g
Lactose ...;.....	5 g
Pourpre de bromocréol .....	0.03g
EAU distillé .....	1000ml

### Milieu Indole- mannitol (Schubert)

Tryptophane .....	0,2 g
Acide glutamique .....	0,2 g
Sulfate de magnésium .....	0,7 g
Sulfate d'ammonium .....	0,4 g
Citrate de sodium .....	0,5g
Chlorure de sodium .....	02g
Tryptone Oxoid.....	10g
Eau distillée .....	1000 ml
Mannito .....	7,5 g
Tampon phosphate .....	500ml

### Bouillon glucose à l'azide sodium (Milieu de ROTH).

#### a) double concentration (D/C)

Tryptone.....	40 g
Glucose .....	1 0 g
Chlorure de sodium .....	10 g
Phosphate bipotassique .....	5,4g
Phosphate monopotassique .....	5,4g
Azide de sodium .....	0,4 g
Eau distillée .....	1000 ml

#### b) simple concentration.

Tryptone .....	20 g
Glucose .....	5 g
Chlorure de sodium .....	5g
Phosphate bipotassique .....	2,7 g
Phosphate monopotassique. ....	2,7 g
Azide de sodium ... ..	0,2 g
Eau distillée .....	1000 ml

## Annexes

---

### **Bouillon glucose à l'éthyle violet et Azide de sodium (EVA)**

peptone .....	20 g
Glucose .....	5g
Chlorure de sodium ... ..	5g
Phosphate bipotassique . ..	2,7 g
Phosphate monopotassique.....	2,7 g
Azide de sodium .....	0,3 g
Ethyl violet .....	0,3 g
Eau distillée .....	1000 ml

# Annexes

---

**Annexe N°4**



**Spectromètre à flamme**

**Annexe N°5**



**Mesure de PH**

**Annexe N° 6**



**Conductimètre**

**Annexe N° 7**



**Turbidimètre**

**Annexe N° 8**



**Spectrophotométrie ultra visible**

**Annexe N° 9**



**Etuve**

# Annexes

---

**Annexe N° 10**



**Etuve**

**Annexe N° 11**



**Recherche d'E-coli**

**Annexe N° 12**



**Titration de Calcium**

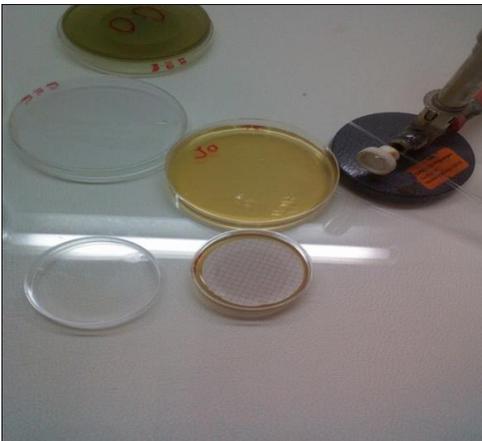
**Annexe N° 13**



**Des échantillons**

# Annexes

## Annexe N°14. Les Mesures des différents éléments



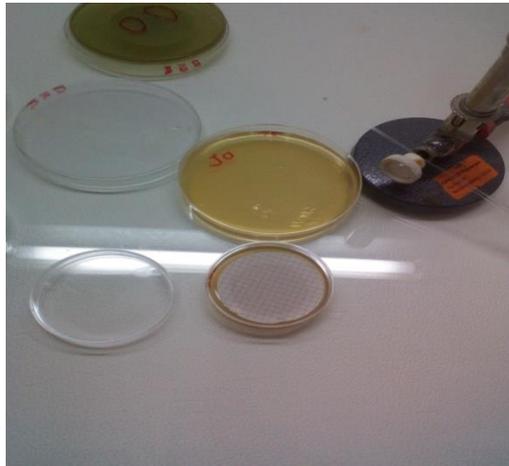
## Annexes

---

**Annexe N°15. Photo de incubation des tubes à essais**



**Annexe N° 16**



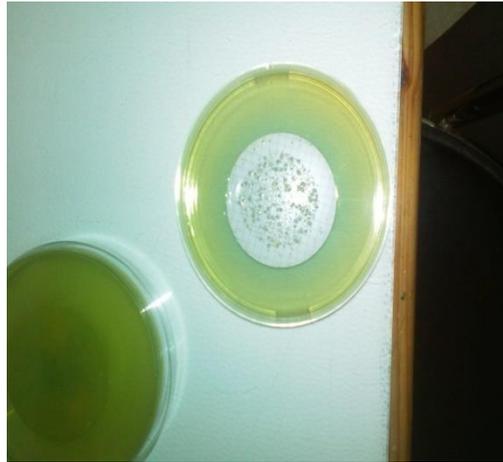
**Photo de test confirmatif des Streptocoques fécaux**

**Annexe N° 17**



## Annexes

---



**Photo de Tube (-) et (+) de recherche des Coliformes fécaux**

**Annexe N° 18**



**Photo de bain marée**

**Annexe N° 19**



**Photo de balance de précision électronique**

**Annexe N° 20**



**Photo de dessiccateur**

# Annexes

---

**Annexe N° 21**



**Photo de four**

**Annexe N° 22**



**Photo de titrage avec l'E.D.T.A**

**Annexe N° 23**



**Forage**

**Annexe N° 24**



**puits traditionnel**

## Annexe N° 25. Mode opératoire

Paramètre	Mode opératoire
<b>Ammonium</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans fioles de 50 ml mettre 40 ml eau échantillonné</li> <li>• Ajouter 4 ml réactif colore</li> <li>• Puis ajouter 4 ml solution dichloroisocyanurate de sodium</li> <li>• Compléter le reste avec de l'eau distillée jusqu'à 50 ml</li> <li>• Reste 1h</li> <li>• L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH<sub>4</sub><sup>+</sup></li> <li>• Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotometre uv</li> <li>• Effectuer la lecture à 655 nm</li> <li>• Expression des résultats :</li> </ul>
<b>Nitrates</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre en 1<sup>er</sup> bécher 10 ml eau distillée témoin</li> <li>• Mettre dans autre bécher 5 ml eau échantillonné et 5 ml eau distillée</li> <li>• Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.</li> <li>• Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.</li> <li>• Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ( ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps ) laisser refroidir.</li> </ul> </li> <li>• Après mettre les béchers dans la haute et ajoute 2 ml Hcl concentré</li> <li>• Reste 10 min</li> <li>• Ajouter 15 ml eau distillée</li> <li>• Ajouter 15 ml de réactif Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium (Na et K)</li> <li>• Une couleur jaune apparaît</li> <li>• Verser les solutions des béchers dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotometreuv</li> <li>• puis passer au spectro au 415</li> </ul>

## Annexes

	<p>nm.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expression des résultats :</li> <li>• Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.</li> </ul>
<b>Nitrites</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre dans un fiole 50ml eau distillée témoin</li> <li>• Dans les autres fioles 50 ml eau échantillonné</li> <li>• Ajouter 1 ml réactif mixte (dosage de nitrite <math>\text{NO}_2^-</math>)</li> <li>• Fermer les fioles et mélanger</li> <li>• Reste 20 min</li> <li>• L'apparition de la coloration rose indique la présence des <math>\text{NO}_2^-</math>.</li> <li>• Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotometreuv</li> <li>• Effectuer la lecture à 543 nm.</li> <li>• Expression des résultats :</li> <li>• Le résultat est donné directement en mg/l.</li> </ul>
<b>phosphates</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans fioles de 50 ml mettre 40 ml eau distillée témoin</li> <li>• Dans les autres fioles 40 ml eau échantillonné</li> <li>• Ajouter 2 ml d'acide ascorbique</li> <li>• Et ajouter 2 ml molybdate</li> <li>• Compléter le reste avec de l'eau distillée jusqu'à 50 ml</li> <li>• Fermer les fioles et mélanger</li> <li>• Attendre 20mn le développement de la couleur bleue.</li> <li>• Une couleur bleu apparaît preuve de la présence de phosphore</li> <li>• Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotometre uv.</li> <li>• Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880 nm.</li> <li>• Expression des résultats :</li> <li>• Le résultat est donné directement en mg/l.</li> </ul>
<b>Fer fe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans fioles de 100 ml mettre 50 ml eauéchantillonné</li> </ul>

## Annexes

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Par pipette graduée ajouter les réactifs             <ol style="list-style-type: none"> <li>1- 0.5 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></li> <li>2- Nettoyer la pipette par eau distillée, et ajouter 1 ml hydroxylamine</li> <li>3- Ajoute 2 ml tompoacytate</li> <li>4- Ajouter 20 ml phénontroline</li> </ol> </li> <li>• Fermer les fioles et mélanger</li> <li>• Reste 20 min Dans l'obscurité</li> <li>• Après Verser les solutions des fioles dans les cuvettes de 10 ml et mettre les dans l'appareil de spectrophotometreuv</li> <li>• Et lire les resultats</li> </ul>
<p><b>Dosage des sulfates</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mettre 100 ml eau échantilloné dans bécher</li> <li>• Ajouter 5 ml Hcl 10%</li> <li>• Mettez-le sur une plaque chauffante à T 8°C</li> <li>• Quand l'eau commence à bouger placer-le sur l'ajetateur avec plaque chauffante à T° 200°C</li> <li>• Titriser avec Bacl<sub>2</sub> (20ml)</li> <li>• Laissez-le se détendre pendant 5 min</li> <li>• Preparerune papier filtre et mettre-le dans entonnoir</li> <li>• Verser toute lasolution dans entonnoir ; Laver le bécher avec l'eau distillée pour confermer que toute la solution est descendre</li> <li>• Faire un test pour confermer plus par AgNa<sub>3</sub></li> <li>• Laisser les papierfilter jusqu'à secher</li> <li>• Peserla creuset vide</li> <li>• Mettre un papier filterseche dans la creuset, et mettre-le dans le four à T° 850°C jusqu'à le papier bruler</li> <li>• Après mettre-le dans dessiccateur pendant 20 min</li> <li>• Et peser la creuset</li> </ul> $C_{SO_4^{2-}} = DP * 4115.5 = \text{mg/l}$ <p>DP : le poid de creuset après opération</p>
<p><b>Chlorur</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans flacon erlenmeyer de 200 ml mettre 50 ml eau échantilloné</li> </ul>

## Annexes

	<p>+ 50 ml eau distillée</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajouter 3 gouttes de chromate de potassium <math>K_2CrO_4</math> (coloration jaunâtre).</li> <li>• titrer la solution avec du nitrate d'argent <math>AgNO_3</math> (0.02 mol/l) jusqu'à coloration brun rougeâtre. qui est le point de fin de titrage;</li> <li>• effectuer un essai en blanc de la même façon que pour l'échantillon.</li> <li>• Noter le volume de <math>AgNO_3</math> qui descendre</li> </ul> $C_{cl} = \frac{(V_s - V_b) * C * F'}{V_a} F$ <p>C : 0.02  F' : 35453  F : dilution  V<sub>a</sub> : 100</p>
<p><b>Calcium</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans erlenmeyer de 100 ml mettre 25 ml eau échantilloné + 25 ml eau distillée</li> <li>• Ajouter 2 ml Hydroxyde de sodium NaOH</li> <li>• Ajouter une pince de HSN</li> <li>• Remplir une burette graduée de 25 ml EDTA pour titrage</li> <li>• Ouvrir le robinet, et faire le titrage jusqu'à la couleur de solution est change</li> <li>• Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage ( violet ).</li> </ul> $C_{Ca} = V_s * F * 8.016$ <p>V<sub>s</sub> : le volume de EDTA qui descendre  F : dilution</p>
<p><b>Bicarbonates</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans flacon erlenmeyer de 200 ml mettre 50 ml eau échantilloné + 50 ml eau distillée</li> <li>• Ajouter 3 gouttes de vert de bromocresol</li> <li>• Remplir une burette graduée de 50 ml HCl pour titrage</li> <li>• Ouvrir le robinet, et faire le titrage jusqu'à la couleur de solution est change (jaune claire)</li> <li>• Noter le volume de HCl qui descendre</li> </ul> $TAC = V_s * F * 12.2$

## Annexes

<p style="text-align: center;"><b>Ph</b></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Allumer le pH Mètre.</li><li>• Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.</li><li>• Prendre dans un petit bēcher, la solution tampon pH = 7</li><li>• Régler l'agitation à faible vitesse.</li><li>• Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH = 7</li><li>• Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2.</li><li>• Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.</li><li>• Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH = 9 où pH =4.</li><li>• Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.</li></ul>
<p style="text-align: center;"><b>Conductivité électrique</b></p>	<p>D'une façon générale, opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillée.</p> <p>Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.</p> <p>Agiter le liquide ( barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes.</p>

## Annexes

**Annexe N° 26 : Table de Mac Crady**  
**Nombre le plus probable et intervalle pic confiance dans le cas du système d'ensemencement**

Nombre de tubes donnant une réaction positive sur			Indice N PP Dans 100 ml
1 tube de 50 ml	5 tubes de 10ml	5 tubes de 1 ml	
0	0	1	1
0	0	2	2
0	1	0	1
0	1	1	2
0	1	2	3
0	2	0	2
0	2	1	3
0	2	2	4
0	3	0	3
0	3	1	5
0	4	0	5
1	0	0	1
1	0	1	3
1	0	2	4
1	0	3	6
1	1	0	3
1	1	1	5
1	1	1	7
1	1	2	9
1	1	3	5
1	2	1	7
1	2	2	10
1	2	3	12
1	3	0	8
1	3	1	11
1	3	2	14
1	3	3	18
1	3	4	21
1	4	0	13
1	4	1	17
1	4	2	22
1	4	3	28
1	4	4	35
1	4	5	43
1	5	0	24
1	5	1	35
1	5	2	54
1	5	3	92
1	5	4	161
1	5	5	240

## Annexes

**ANNEXE N° 27. Table MAC CREDY**  
**Nombre le plus probable et intervalle de confiance 3-3-3**

Nombre de tubes donnant une réaction positive			N.P.P. dans ml 100	Limites de confiance à 95 %	
3 tubes de 10 ml	3 tubes de 1 ml	3 tubes de 0.1ml		Limite Inférieure	Limitesupérieur
0	0	1	03	< 0,5	9
0	1	0	03	< 0,5	13
1	0	0	04	< 0,5	20
1	0	1	07	1	21
1	1	0	07	1	23
1	1	1	11	3	36
1	2	0	11	3	36
2	0	0	09	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1 300
3	3	1	460	71	2 400
3	3	2	1 100	150	4 800

## Résumé

### Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la vallée du M'Zab

Notre travail s'intéresse à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologiques des eaux souterraines dans la région de la vallée de M'Zab, afin de déterminer leurs aptitudes d'utilisation et les problèmes de dégradations posés.

Notre approche méthodologique adoptée consiste d'effectuer pour 12 puits et 16 forages des mesures physico-chimiques et bactériologique des eaux souterraines, ainsi que la classification de la qualité des eaux par rapport les normes.

Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que les eaux d'un grand nombre de puits sont de mauvaise qualité aussi bien sur le plan physico-chimique et bactériologique que qui constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux. Par contre les teneurs en constituants physico-chimiques de la majorité de ces points d'eau des forages sont conformes aux normes de potabilité. La classification des eaux des forages indique qu'ils sont de qualité acceptable pour l'irrigation or la moitié des puits échantillonnés sont de qualité mauvaise, ne convenant pas généralement à l'irrigation.

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

## ملخص

### دراسة المياه الجوفية من ناحية النوعية الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية في وادي مزاب

عملنا هذا يهدف الى دراسة الجودة الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية في منطقة وادي مزاب ، من أجل تحديد قدرات و امكانيات الاستعمال والاضرار. لتحقيق هذا الهدف قمنا بالدراسة الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية لـ 12 بئراً تقليدي و 16 بئراً حديث ، و تصنيف جودة هذه المياه مقارنة بالمعايير.

تظهر النتائج المتحصل عليها أن مياه عدد كبير من الآبار التقليدية ذات نوعية رديئة من الناحية الفيزيائية والكيميائية، مما يشكل على الأرجح خطراً كبيراً على صحة السكان الذين يستهلكون هذه المياه. من ناحية أخرى، فإن خصائص المكونات الفيزيوكيميائية لغالبية الآبار الحديثة تتوافق مع المعايير ولا تظهر أي خطورة ، ويشير تصنيف الآبار الحديثة إلى أنها ذات جودة مقبولة للري عكس عدد من الآبار التقليدية حيث العينات اظهرت نوعية رديئة وليست مناسبة للري.

**الكلمات المفتاحية:** المياه الجوفية ، الجودة ، الفيزيوكيميائية ، البكتريولوجية ، وادي مزاب

## summary

### Physicochemical and bacteriological quality of ground waters of the valley of M'Zab

Our work under investigation is interested of quality physicochemical and bacteriological ground waters in the area of the valley of M'Zab, in order to determine their aptitudes of use and the problems of degradations posed.

Our adopted methodological approach consists to carry out for 12 wells and 16 drillings of measurements physicochemical and bacteriological of groundwaters, as well as the classification of the quality of water by report the standards.

The results of the analyzes carried out have shown that the waters of a large number of wells are of poor quality both physico-chemically and bacteriologically, which probably constitutes a considerable danger to the health of the populations consuming these waters. On the other hand, the contents of the physicochemical constituents of the majority of these boreholes are in accordance with the standards of potability. The classification of the boreholes indicates that they are of acceptable quality for irrigation or half of the wells sampled are of poor quality, not generally suitable for irrigation.

**Key words:** groundwater, quality, physicochemical, bacteriological, Oued M'Zab