

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en :

Ecosystèmes aquatiques

Thème

**Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique
des eaux souterraines de l'entreprise AQUASIM S.P.A**

Soutenu par :

TAÏBI Yasmine Mélissa

ZATIMI Rayen Atika

Devant le Jury :

- M^{me} AMEDJKOUH H. M.A.A U.S.D. Blida Présidente
- M^r BOURIACH M. M.C.B U.S.D. Blida Examineur
- M^{me} BELMESKINE H. M.C.A U.S.D. Blida Promotrice

Le : 15 /07/2021

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة البليدة 1

Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en :

Ecosystèmes aquatiques

Thème

**Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique
des eaux souterraines de l'entreprise AQUASIM S.P.A**

Soutenu par :

TAÏBI Yasmine Mélissa

ZATIMI Rayen Atika

Devant le Jury :

- M^{me} AMEDJKOUH H. M.A.A U.S.D. Blida Présidente
- M^r BOURIACH M. M.C.B U.S.D. Blida Examineur
- M^{me} BELMESKINE H. M.C.A U.S.D. Blida Promotrice

Le : 15 /07/2021

DÉDICACES

Je tiens à dédier ce modeste travail aux personnes les plus chères pour moi à savoir :

- Mes très chers parents , dont je suis fière , les deux personnes qui ont tout fait pour moi et dont ce travail est un des fruits de leur amour , soutien et sacrifices, je le leur dis et répète , je vous aime Maman Papa !
- Ma très chère petite sœur Sara, merci de m'épauler et de m'encourager à avancer dans l'accomplissement de mes rêves même les plus fous .
- Ma très chère tante Amel et ses enfants Rafik , Manel , Naziha , Nada et particulièrement Rania ainsi que ma petite Nélia .
- Ma famille de cœur ‘’ Safa , Selsabil , Raouia , Mohamed et Sidali ‘’ , merci pour votre présence à mes côtés.
- La meilleure famille virtuelle, ‘’ les plumeurs ‘’ et particulièrement Chaima K.B. pour son aide précieuse.
- Ma très respectable enseignante Dr BELMESKINE H., qui a été bien plus qu'une enseignante ou promotrice, je vous remercie pour les conseils et remarques que vous m'avez prodiguée depuis mon intégration dans la présente spécialité .
- Ma chère binôme Rayen ainsi que toute sa famille , je te souhaite beaucoup de succès dans ta vie .
- Sans oublier , toutes les personnes qui m'ont aidée , encouragée et soutenue durant mes 18 ans d'études .

DU FOND DU CŒUR , MERCI A TOUTES ET A TOUS !

M^{lle} TAÏBI Yasmine Mélissa .

DÉDICACES

Je dédie ce travail

- À toute ma famille, qui m'a dotée d'une éducation digne, un encouragement constant et d'un amour qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui.
- Particulièrement à ma mère, ceci est ma profonde gratitude pour ton éternel amour et support.
- À mon père, pour le goût à l'effort qu'il a suscité en moi, et le confort qu'il m'a assuré pour arriver à ce niveau, Que ce travail soit une récompense de vos efforts et le meilleur cadeau que je puisse vous offrir.
- À mes sœurs Hadjer et Maria, et mon frère Abderrahmane, pour leur soutien et encouragement durant ces années d'études, et de surtout être un exemple de réussite pour moi.
- À mes chers professeurs pour leurs générosités, soutien, savoir et la qualité d'étude qu'ils m'ont transmis m'obligent à leur témoigner mon profond respect et ma parfaite considération. Spécialement à Madame Belmeskine à qui je tiens à présenter ma sincère reconnaissance, de m'avoir encadrée, orientée et conseillée.
- À ma chère binôme Mélissa, ainsi que sa famille pour les moments que nous avons passé ensemble je vous souhaite beaucoup de succès.
- Finalement à tous mes amis et mes collègues, merci à Narimene, Amira, Iris et Rania qui représentent pour moi une fidélité et une amitié infinie.

M^{lle} ZATIMI Rayen Atika .

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier :

- En premier , Dieu, de nous avoir donné la force , le courage et la patience pour accomplir ce travail .
- M^{me} BELMESKINE H., d'avoir accepté de nous encadrer de la meilleure des manières , nous tenons à la remercier également pour ses conseils , et sa disponibilité de tous les instants.
- M^{me} AMEDJKOUH H., d'avoir bien voulu accepter d'être la présidente de notre honorable jury .
- M^r BOURIACH M. , de nous faire l'honneur d'examiner notre travail et de l'évaluer à juste valeur .
- Au personnel du laboratoire de contrôle de qualité de l'entreprise AQUASIM Mouzaia , pour son accueil , sa gentillesse , sa disponibilité et son professionnalisme lors de notre passage dans leur unité de production .
- Au personnel du laboratoire de l'ADE Chiffa , pour son aide précieuse .

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES

REMERCIEMENTS

LISTE DES ABRÉVIATIONS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

RÉSUMÉ

INTRODUCTION..... 1

CHAPITRE 1 : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.

I. LES EAUX SOUTERRAINES 2

I.1. Origine des eaux souterraines 2

I.2. Les eaux souterraines en Algérie 3

I.3. Qualité des eaux souterraines..... 5

I.3.1. Paramètres de surveillance de la qualité des eaux 5

I.3.1.1. Paramètres organoleptiques..... 5

I.3.1.2. Paramètres physico-chimiques 6

I.3.1.3. Paramètres bactériologiques..... 9

I.4. Pollution des eaux souterraines 10

I.5. Usage des eaux souterraines 11

II. LES EAUX MINÉRALES NATURELLES..... 12

II.1. Définition des eaux minérales naturelles 12

II.2. Classification des eaux minérales naturelles 13

II.3. Normes de qualité des eaux minérales naturelles 14

CHAPITRE 2 : MATÉRIELS ET MÉTHODES.

I. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE	16
I.1. Présentation du site de prélèvement.....	16
I.2. Procédé de production de l'eau minérale naturelle <<MOUZAIA>>.....	17
II. ÉCHANTILLONNAGE ET MODES DE PRÉLÈVEMENT.....	17
II.1. Prélèvement pour l'analyse physico-chimique.....	17
II.2. Prélèvement pour l'analyse bactériologique.....	18
III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES.....	19
IV. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES.....	27

CHAPITRE 3 : RÉSULTATS ET DISCUSSION.

I. RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO –CHIMIQUES.....	31
II. RÉSULTATS DES ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES.....	40
CONCLUSION.....	41

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ANNEXES

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADE :	Algérienne Des Eaux
EDTA :	Acide éthylènediaminetétraacétique
FUNASA :	Fondation Nationale de la santé
ISO :	Organisation internationale de normalisation
JORA :	Journal Officiel de la République Algérienne.
NA :	Norme algérienne .
NET :	Noir d'ériochrome T
NF :	Norme française .
pH :	Potentiel Hydrogène.
S :	Semaine .
TDS :	Total des solides dissous .
TRT :	Traitement.
TTC :	Chlorure de tri-phényltétrazolium.
UFC :	Unité formant colonie.
UV :	Ultra violet.
VF :	Viande Foie .

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays	4
Tableau II : Exploitation des eaux souterraines du Sud du pays.....	4
Tableau III : Polluants susceptibles d’être retrouvés dans leseaux souterraines.....	11
Tableau IV : Normes de qualité bactériologique des eaux minérales naturelles.....	14
Tableau V : Normes de qualité physico-chimique des eauxminérales naturelles.....	15
Tableau VI : Concentrations des paramètres de pollution	39
Tableau VII : Résultats des analyses bactériologiques effectuées	40

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique de la nappe d'eau souterraine.....	16
Figure 2 : Procédé de production de l'eau minérale naturelle gazeuse << Mouzaia >>.....	17
Figure 3 : Prélèvements pour l'analyse physico-chimique depuis le forage et à la fin du traitement	18
Figure 4 : Prélèvements pour l'analyse bactériologique depuis le forage et à la fin du traitement	19
Figure 5 : Variations de la température	32
Figure 6 : Variations de la conductivité.....	32
Figure 7 : Variations des TDS.....	32
Figure 8 : Variations de l'oxygène dissous.....	33
Figure 9 : Variations de la salinité.....	34
Figure 10 : Variations du PH	34
Figure 11 : Variations du titre hydrotimétrique (TH).....	35
Figure 12 : Variations du titre alcalimétrique (TAC)	36
Figure 13 : Variations du bicarbonate	36
Figure 14 : Variations du calcium	37
Figure 15 : Variations du magnésium.....	38
Figure 16 : Variations des chlorures	38
Figure 17 : Résultats des analyses chimiques	Annexe II

RÉSUMÉ

La présente étude a pour but d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de la nappe d'eau souterraine de l'entreprise AQUASIM Mouzaia avant traitement (depuis le forage) et après traitement (après filtration) , cette eau est destinée à la production d'eau minérale plate en bouteilles

P.E.T ainsi que les boissons gazeuses aromatisées .

Les échantillons ont été prélevés à raison d'un prélèvement par semaine pendant deux mois et analysés au niveau du laboratoire de qualité de l'entreprise ainsi qu'au niveau du laboratoire de l'Algérienne des eaux pour des analyses supplémentaires tout en se référant aux normes du Journal Officiel de la République Algérienne.

Les résultats de l'analyse physico-chimique montrent que cette eau est d'une bonne qualité et obéit aux normes JORA, sauf pour deux paramètres ; le calcium Ca^{2+} et les bicarbonates HCO_3^- dont les moyennes respectives sont de 136.5 mg/l avant traitement et 133.39 mg/l après traitement et de

813.9 mg/l avant traitement et de 790.3 mg/l après traitement , cela s'explique par le fait que cette eau est une eau minérale naturelle.

Les résultats de l'analyse bactériologique, montrent que cette eau obéit aux normes JORA , donc elle peut-être consommée sans aucun risque de contamination .

Mots-clés : Eaux souterraines , Eaux minérales naturelles, Mouzaia, analyses physico-chimiques , analyses bactériologiques .

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the physico-chemical and bacteriological quality of the groundwater of AQUASIM Mouzaia before treatment (since drilling) and after treatment (after filtration) , this water is intended for the production of flat mineral water in PET bottles and flavoured carbonated drinks .

The samples were collected once a week for two months and analysed in the company's quality laboratory as well as the Algerian water laboratory for extra analysis , referring to the standards of the Official Journal of the Algerian Republic.

The results of the physico-chemical analysis show that this water is of good quality and complies with the Official Journal of the Algerian Republic's standards, except for two parameters: calcium Ca^{2+} and bicarbonates HCO_3^- whose averages are 136.5 mg/l before treatment and 133.39 mg/l after treatment and 813.9 mg/l before treatment and 790.3 mg/l after treatment, this is explained by the fact that this water is a natural mineral water .

The results of the bacteriological analysis show that this water complies with the Official Journal of the Algerian Republic's standards, so it can be consumed without any risk of contamination.

Key-words : Underground water , Natural mineral water , Mouzaia , Physicochemical analysis , bacteriological analysis

ملخص

الغرض من الدراسة التالية هو تقييم الجودة الفيزيوكيميائية والبكتريولوجية للمياه الجوفية الخاصة بشركة AQUASIM موزاية قبل المعالجة (من البئر) وبعد المعالجة (بعد الترشيح)، هذه المياه مخصصة لإنتاج المياه الجوفية. المياه المعدنية في زجاجات PET وكذلك المشروبات الغازية المنكهة.

تم أخذ العينات بمعدل عينة واحدة في الأسبوع لمدة شهرين وتحليلها على مستوى معمل الجودة التابع للشركة وكذلك على مستوى مخبر الجزائرية للمياه لتحليلات إضافية مع الرجوع إلى المعايير الرسمية لمجلة الجمهورية الجزائرية.

وتظهر نتائج التحليل الفيزيائي-الكيميائي أن هذه المياه جيدة النوعية وتمتثل لمعايير الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية ، باستثناء معيارين : الكالسيوم والبيكربونات بمعدل 136.15 مغ/لتر قبل العلاج و 199.39 مغ/لتر بعد العلاج و 813.9 مغ/لتر قبل العلاج و 790.3 مغ/لتر بعد العلاج ، على التوالي ، وذلك لأن هذه المياه هي مياه معدنية طبيعية.

أظهرت نتائج التحليل البكتريولوجي أن هذه المياه تخضع لمعايير الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية ، لذلك يمكن استهلاكها دون التعرض لخطر التلوث.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية ، المياه المعدنية الطبيعية ، موزاية ، التحليلات الفيزيوكيميائية ، التحليلات البكتريولوجية.

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau, ressource naturelle autour de laquelle se maintient et se développe la vie doit faire l'objet d'une surveillance attentive et d'un contrôle rigoureux, sa qualité en fait une ressource de valeur, plus fondamentale que sa quantité (**Djellouli et Taleb, 2005**) .

L'eau courante couvre 71% de la surface terrestre , cependant l'eau liquide sur terre est à 97% salée et seulement 3% constituent l'eau douce (**Zella, 2015**). L'eau circule continuellement dans les enveloppes superficielles de la terre, au sein de plusieurs grands compartiments : les océans, la cryosphère (neige et glaces), la lithosphère (sols et sous-sol), l'atmosphère et la biosphère (**Ducharne et Laval, 2017**) .

En Algérie, les ressources hydriques disponibles et mobilisables sont estimées à 19,4milliards de m³/an , dont 12 milliards de ressources superficielles et 2 milliards de ressources souterraines dans le Nord (ressources renouvelables) et 5,2 milliards de m³ dans le sud (superficielles et souterraines) (**Achour, 2015**).

La consommation d'eau polluée par les populations a pour conséquence le développement des maladies hydriques dues entre autres : aux germes pathogènes, aux produits cancérigènes et aux composés azotés. Si des actions immédiates ne sont pas entreprises, la contamination des eaux souterraines sera à l'origine d'une pénurie d'eau potable dans les années à venir. (**Hassane, 2010**).

Parmi ces eaux d'origine souterraine, on cite les eaux minérales naturelles ; elles se caractérisent par leur pureté originelle et par la stabilité de leur composition en minéraux et oligo-éléments, ce qui leur confère des propriétés favorables à la santé reconnues par l'Académie de Médecine. Elles font l'objet de centaines de contrôles quotidiens qui garantissent leur qualité et leur pureté (**Guillerin, 2018**).

Et c'est le cas de notre étude, nous analyserons les eaux souterraines de l'entreprise AQUASIM , qui sont classées précisément comme étant des eaux minérales naturelles .

Alors l'objectif principal de cette étude sera :

- D'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de ces eaux minérales naturelles, tout en nous référant aux normes de qualité des eaux minérales naturelles du Journal Officiel de la République Algérienne .

CHAPITRE I :
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. LES EAUX SOUTERRAINES

Les eaux souterraines sont des réserves d'eau stockées dans des aquifères sous forme de nappes souterraines. Elles proviennent de l'infiltration et de la percolation des eaux de surfaces dans le sol, leur composition chimique résulte de la nature des aquifères traversés par l'eau à travers l'infiltration, et ainsi un lien s'établit entre la nature du terrain et l'eau infiltrée. Les eaux souterraines sont exemptes de pollution. Cependant elles peuvent, d'une part être contaminées par la technique de puisage, la proximité des latrines ou d'autres sources de pollution, le manque de protection, d'autre part, elles peuvent être chargées par les éléments ; eaux saumâtres, (NaCl) eaux dures (Ca^{2+}) ; eaux ferrugineuses (Fe^{2+}) (Coulibaly, 2005).

D'après Brière (2012), les eaux souterraines ont habituellement les propriétés suivantes :

- o Une température constante.
- o Incolore vu l'absence de matières organiques.
- o Une turbidité presque nulle grâce à la filtration des roches.
- o La filtration du sol permet également l'élimination des microorganismes.
- o Présence de fer, du manganèse, de calcium et de magnésium en solution.

I.1. Origine des eaux souterraines

Les nappes sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères. La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine (Degremont, 2005)

I.1.1. Nappe phréatique:

Les nappes phréatiques sont celles qui se reposent sur la première couche imperméable, non loin de niveau du sol. Elles sont toujours libres et souvent contaminées. Ces nappes revêtent une importance énorme pour l'approvisionnement en eau, car elles constituent les plus grandes réserves d'eau potable dans la plupart des régions du monde. Une nappe phréatique affleure parfois à la surface du sol sous la forme de source ou bien peut être captée au moyen de puits (Ayad, 2017).

I.1.2. Nappe alluviale :

Elle est contenue dans les grands épandages de sables, graviers et galets des fleuves et des rivières. La nappe alluviale est le lieu privilégié des échanges avec les cours d'eau et les zones humides. Ce type de nappe peut être réalimenté par les crues et restituer à l'inverse de l'eau dans les cours d'eau en période de sécheresse (Ayad, 2017).

I.1.3. Nappe captive :

Emprisonnées entre deux couches de terrains imperméables ; les nappes de ce type sont les plus fréquentes et généralement les plus profondes ; il y règne une certaine pression : leur niveau piézométrique se situe généralement entre leur toit imperméable et la surface du sol ; elles sont dites **artésiennes** quand ce niveau se situe au-dessus de la surface du sol (d'où un jaillissement de l'eau lors d'un forage) (Degremont, 2005)

I.1.4. Nappe karstique :

La nappe karstique se rencontre dans les formations calcaires. Les eaux en dissolvant le calcaire à la faveur des fissures préexistantes constituent des vides dans lesquels peuvent s'écouler les eaux. Ces vides peuvent atteindre de grandes dimensions (gouffres, cavernes). Dans ces conduits les eaux peuvent cheminer rapidement et constituer des cours d'eau souterrains. Aux points de sortie, les sources présentent des débits souvent variables dans le temps (Ayad , 2017)

I.2. Les eaux souterraines en Algérie

En Algérie, les nappes phréatiques jouent un rôle fondamental qui conditionne toute forme de vie et tout développement socio-économique, agricole et industriel. La division en 5 grands bassins hydrographiques, a pour but d'adapter, dans chaque région, la gestion et la disponibilité en fonction de l'importance du peuplement et de l'activité économique (Khaldoun, 2015).

I.2.1. Dans le Nord du pays :

L'ensemble des ressources en eaux souterraines a été évalué par les services techniques de l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH) et de la Direction des Grands Aménagements Hydrauliques (DGAIH) et dans le cadre du Plan national de l'eau à environ 1,9 milliard de m³. Les ressources qui sont les plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90%; beaucoup de nappes sont même déjà dans un état de surexploitation critique. Actuellement, on estime que plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits sollicitent

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

les nappes pour les besoins de l'agriculture et de l'alimentation en eau potable et industrielle (AEPI) (Khalidoun, 2015).

D'après (Khalidoun, 2015), la répartition par région hydrographique des eaux souterraines du Nord se présente comme suit (Tableau I) :

Tableau I : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord du pays.

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chéllif Zahrez	Algérois Soumam Hodna	Constantinois Seybous Mellégue	Total
Ressources potentiel hm ³ /an	375	231	745	289	1379
Total (%)	19.7	12.2	39.2	28.9	100

I.2.2. Dans le Sud du pays :

Quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les lits d'oueds tels que les oueds Ghir, M'zab, Saoura etc..., mais l'essentiel du potentiel en eau vraiment utilisable se trouve dans les nappes du Sahara septentrional qui, seules, ont fait l'objet d'études en 1969-1971, (ERES UNESCO) et en 1981-1985 (ANRH, Projet RAB PNUD) (Khalidoun , 2015) (Tableau II).

Tableau II : Exploitation des eaux souterraines du Sud du pays (Source ANRH).

Wilaya	Prélèvements possibles hm ³ /an		
	Continental intercalaire	Complexe terminal	Totaux
Biskra	24.6 %	9.3%	33.9%
El Oued	310,5 %	713,9 %	1024,4 %
Ouargla	507,0 %	1446,2 %	1953,2 %
Ghardaia	559,9 %	-	559,9 %
Adrar	1180,1 %	-	1179,3 %
Tamanrasset	184,8 %	-	184,8 %
Total	2766,9 %	2169,4 %	4936,3 %

I.3. Qualité des eaux souterraines :

Parmi les principales caractéristiques des eaux souterraines, on cite le fait qu'elle soit exempte de microorganismes et composés chimiques néfastes pour la santé humaine , alors , elle doit répondre aux normes des paramètres sous mentionnés .

I.3.1. Paramètres de surveillance de la qualité des eaux :

I.3.1.1. Paramètres organoleptiques :

a- Couleur :

La couleur de l'eau provient de matières organiques, comme par exemple les substances humiques, les tanins mais également les métaux comme le fer et le manganèse ainsi que les résidus industriels fortement colorés. La couleur, dans les systèmes publics d'approvisionnement d'eau, est esthétiquement indésirable. (**FUNASA , 2013**)

b- Odeur :

Le test de l'odeur ne constitue pas une mesure mais une appréciation et celle-ci a donc un caractère personnel.

L'eau potable doit être sans odeur, non-seulement au moment du prélèvement, mais encore après une période de 10 jours en vase clos à la température de 26°C. Les odeurs proviennent soit des produits chimiques, des matières organiques en décomposition, des protozoaires ou des organismes aquatiques (**Rodier et al. 2009**).

c- Saveur :

Le goût peut être défini comme l'ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche. La saveur peut être définie comme l'ensemble des sensations perçues à la suite de la stimulation par certaines substances solubles des bourgeons gustatifs (**Rodier et al., 2009**).

Chaque eau possède un goût qui est en partie liée à sa composition minérale (**Teillet et al., 2008**).

II.3.1.2. Paramètres physico-chimiques :

a- Paramètres physiques :

❖ Température (T°) :

La température de l'eau est un paramètre essentiel du fonctionnement des écosystèmes aquatiques dont elle influence de nombreux paramètres comme, par exemple, la concentration en oxygène (**Georges et al., 2019**). La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (l'air), des saisons, de la nature géologique et de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol. (**Latifi , 2019**) .

❖ Conductivité électrique :

La conductivité électrique montre le degré de minéralisation d'une eau. Elle est conditionnée par la présence des espèces ioniques en solution. Une conductivité élevée traduit une salinité élevée. (**Latifi , 2019**).

❖ Total des solides dissous (TDS) :

Les solides dissous totaux (TDS) désignent la quantité de minéraux, de métaux, de matières organiques et de sels dissous dans un certain volume d'eau exprimé en mg/l (**Yusof et al., 2019**).

❖ Oxygène dissous :

La qualité des eaux dépend surtout des interactions géochimiques et biologiques qui les affectent dans le sol et dans la nappe. Le rôle du sol est généralement majeur dans l'acquisition des caractères chimiques des eaux souterraines, en particulier du fait de la présence des deux gaz O₂ et CO₂. Ces derniers agissent sur l'activité des bactéries et ainsi directement sur la chimie des eaux en transit. La quantité d'oxygène en solution dans une eau régit les réactions d'oxydoréduction (**Latifi , 2019**).

❖ Salinité :

La salinité mesure la concentration d'une eau en sels dissous (chlorure de sodium, chlorure de magnésium, sulfate de magnésium, etc.) au travers de la conductivité électrique de cette eau. (**Futura Sciences , 2021**) .

❖ pH :

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une solution, ou de la puissance de l'hydrogène (Estefan et al., 2013). Le pH d'un échantillon aqueux peut être mesuré par la méthode électrométrique ou colorimétrique (Patnaik, 2018).

b- Paramètres chimiques :

❖ Titre hydrotimétrique(TH) :

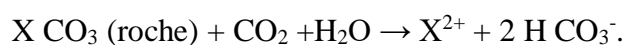
La dureté totale d'une eau est la concentration totale en ions calcium, magnésium et autres cations bivalents et trivalents de cette eau.(Ghazali et Zaid , 2013)

❖ Titre alcalimétrique (TAC) :

À l'inverse de l'acidité, l'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes. D'autres sels d'acides faibles peuvent aussi être dosés et interfèrent dans la mesure : acides humiques, phosphates, citrates, tartrates... La silice ionique peut aussi interférer notamment lorsque le pH est supérieur à 8,5.(Rodier et al. , 2009) .

❖ Bicarbonates (HCO₃⁻) :

D'après (Ouanes,2020) , les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies ou d'émanation du magma profond, l'apport atmosphérique de cet élément est négligeable Ils prennent naissance de l'équilibre physique-chimique entre roche, eau et gaz selon l'équation:



❖ Calcium (Ca²⁺) :

Parmi les alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature, sa teneur varie essentiellement suivant la nature géologique des terrains traversés, il peut varier de 1 à 150 mg/L(Rodier et al., 2009). Les eaux riches en calcium sont dites eaux dures, elles se rencontrent dans les régions où le sol organique est épais est les formations calcaires sont présentes (Nechad et al., 2014).

❖ Magnésium(Mg^{2+}) :

C'est un élément dominant dans l'eau qui représente le 7^{em} élément le plus abondant à l'état naturel. Il constitue un élément significatif de la dureté. Sa teneur dépend du terrain traversé. Il dépasse rarement 15 mg/L dans les eaux naturelles. Par contre, dans les eaux minérales il peut largement dépasser cette valeur. Au même titre que le calcium, le magnésium est dosé par la méthode complexométrique. Le magnésium est un élément essentiel pour la photosynthèse des plantes (**Belkhiri et al., 2011**).

❖ Chlorures (Cl^-):

L'eau contient presque toujours des chlorures, mais en proportion très variable. Ainsi, les eaux provenant de régions granitiques sont pauvres en chlorures, alors que les eaux des régions sédimentaires en contiennent davantage. D'ailleurs la teneur en chlorure augmente généralement avec le degré de minéralisation d'une eau (**Rodier et al., 2009**).

Les chlorures peuvent être localement impliqués dans les pluies acides et les phénomènes d'acidification des eaux souterraines (**Bouziane et Labadi, 2009**).

❖ Ammonium(NH_4^+) :

La présence de quantités élevées de composés contenant de l'azote dans les effluents aqueux est connue pour produire l'eutrophisation des milieux aquatiques. Un de ces composés d'azote est le cation d'ammonium, ce dernier provient d'une grande variété de sources telles que les engrais naturels et artificiels, les eaux usées industrielles et urbaines (**Enmilia et al., 2020**).

❖ Nitrites (NO_2^-) :

Lors de la nitrification, des ions négatifs comme les nitrites et les nitrates se déplacent le long de l'écoulement des eaux souterraines, et par des forces répulsives sur les surfaces minérales argileuses, accélèrent le transport de l'azote dans la couche du sol (**Lee et al., 2020**).

❖ Nitrates (NO_3^-):

Les nitrates sont des ions naturels présents partout dans l'environnement. Ils sont le produit de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau. La concentration en nitrate dans les eaux souterraines est normalement basse, mais peut atteindre des niveaux élevés en raison de l'écoulement agricole, l'écoulement de décharge d'ordures, les formations géologiques contenant des composés azotés solubles, ou de contamination avec les déchets des animaux ou des humaines. (**Ouanes, 2020**).

❖ Orthophosphates(PO_4^{3-}) :

Le phosphore peut exister dans les eaux à l'état dissous ou en suspension le phosphore total dissous comprend le phosphore organique et le phosphore inorganique qui lui-même inclut les orthophosphates et les polyphosphates(**Rodier et al. , 2009**) , les eaux souterraines qui ne sont pas influencées par des contaminations anthropogènes montrent des teneurs en phosphates inférieurs à 0,01 mg/L (**C.I.E, 2005**).

II.3.1.3.Paramètres bactériologiques :

L'objectif de l'examen microbiologique de l'eau est de fournir des informations quant à la potabilité, c'est à dire sans risque d'ingestion de micro-organismes qui causent des maladies, provenant généralement d'une contamination par des matières fécales humaines ou d'autres animaux à sang chaud. Soulignons que les micro-organismes présents dans les eaux naturelles sont pour la plupart inoffensifs pour la santé humaine (**FUNASA, 2013**)

a- Coliformes totaux :

Bacilles gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, oxydase-négatifs, capables de développer en présence de sels biliaires ou d'agents tensio-actifs qui fermentent le lactose en produisant de l'acide, du gaz et de l'aldéhyde à

$35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ pendant 24-48 heures, et qui peuvent présenter une activité enzyme β - galactosité. La majorité des bactéries coliformes appartiennent au genre *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* et *Enterobacter*, bien que plusieurs autres genres et espèces appartiennent également au groupe(**FUNASA , 2013**).

b- Coliformes fécaux :

Sous-groupe de bactéries coliformes qui fermentent le lactose à $44,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ sous 24 heures, dont le principal représentant est la bactérie *Escherichia*, d'origine exclusivement fécale (**FUNASA , 2013**).

c- Entérocoques :

Les entérocoques sont des germes ubiquistes (sols, eaux douces et marines, végétaux), qui vivent en commensaux dans l'intestin de l'homme et des animaux (volailles, porcs, chats...). Ils peuvent être pathogènes pour l'homme et pour les animaux. Ils sont responsables d'infections

opportunistes humaines variées et redoutables telles que des endocardites, des septicémies, des méningites, des infections urinaires et des infections nosocomiales). Les espèces fécales de streptocoques et d'entérocoques du groupe D sont recherchées en tant qu'indicateurs de contaminations fécales dans les eaux. (**Delarras, 2014**), et ce sont les deuxièmes micro-organismes impliqués dans les endocardites infectieuses (**Ruch et al., 2019**).

En général, les entérocoques sont alpha-hémolytiques ou non hémolytiques (**Maza et al., 2020**).

d- Anaérobies sulfito-réducteurs :

Ils regroupent des espèces de Clostridia telles que *Cl. perfringens*, *Cl. bifermentans*, *Cl. sporogenes*, *Cl. novyi*, *Cl. fallax*, *Cl. septicum*... Ils sont ainsi dénommés car ils sont capables de réduire les sulfites (sulfite de sodium, par exemple) présents dans le milieu de culture en sulfures ; ceux-ci se combinent avec un sel de fer pour donner du sulfure de fer noir. Les colonies noires entourées d'un halo noir sont caractéristiques de bactéries sulfito-réductrices (ou anaérobies sulfito-réducteurs), de *Clostridium* ou de *Cl. perfringens* après confirmation selon les conditions de recherche (**Delarras , 2014**) .

e- *Pseudomonas aeruginosa* :

Micro-organismes se développant sur des milieux sélectifs contenant du cétrimide et produisant de la pyocyanine ou micro-organismes se développant sur des milieux sélectifs contenant du cétrimide, oxydase positive, donnant lieu à une fluorescence sous rayonnement ultraviolet (360 ± 20) nm et également capables de produire de l'ammoniac à partir d'acétamide.

(**JORA , 2013**)

I.4. Pollution des eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont, dans la plupart des cas, de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont moins directement exposées aux pollutions. Cependant, si les pollutions sont en général plus discrètes, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est très difficile de remédier à la contamination. Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des pollutions est un enjeu majeur. On peut distinguer les pollutions anthropiques, dues à des rejets de substances dans l'environnement, des contaminations naturelles, dues à des substances naturellement présentes dans les eaux. En ce qui concerne les pollutions anthropiques, on peut distinguer différentes

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

sources qui se caractérisent par des substances et des modes de rejets différents. Les principales sources sont l'agriculture, qui s'applique de manière diffuse sur le territoire, les industries qui sont à l'origine de rejets très diversifiés et souvent localisés et l'activité humaine domestique via les rejets d'eaux usées ou les décharges. (Wikhydro , 2013)

Les polluants que l'on peut retrouver dans les eaux souterraines sont très variés. On peut distinguer (**Tableau III**) :

Tableau III : Les polluants susceptibles d'être retrouvés dans les eaux souterraines .

Contaminants organiques	Contaminants inorganiques
<ul style="list-style-type: none">○ les produits phytosanitaires (ou pesticides) qui sont utilisés pour protéger les végétaux contre les organismes nuisibles.○ les produits pharmaceutiques, qui ne font pas l'objet, à ce jour, de suivis réguliers.○ les hydrocarbures et huiles minérales, qui ont généralement une présence localisée résultant d'une pollution accidentelle.	<ul style="list-style-type: none">○ les fertilisants (nitrates, phosphates) utilisés en agriculture .○ les sels dans des contextes de nappes littorales surexploitées ou de remontées d'eaux profondes.○ les métaux (cadmium, mercure, plomb, manganèse, arsenic par exemple) qui sont fréquemment retrouvés dans les eaux souterraines. Ils peuvent avoir une origine naturelle ou anthropique.

(Wikhydro , 2013) .

I.5. Usage des eaux souterraines

Les prélèvements d'eau souterraine dans le monde ont été estimés à 1 000 km³/an en 2010 (VAN DER GUN, 2012), dont 67 % pour l'irrigation, 22 % pour les besoins domestiques et 11 % pour l'industrie. Ces volumes représentent près de 10 % des ressources en eau souterraine renouvelables et 25 % des prélèvements en eau douce de la planète (De Marsily et Besbes , 2017) .

Selon **Degremont (2005)**, La législation française définit trois types d'eaux embouteillables :

- **Les eaux minérales** sont des eaux profondes qui peuvent contenir certains éléments en concentration supérieure à la concentration autorisée pour les eaux potables et qui sont douées de propriétés thérapeutiques reconnues. Elles sont distribuées en bouteille, avec parfois certains traitements bien définis comme : décantation naturelle, déferrisation par simple aération et filtration sur sable, élimination et/ou réincorporation du CO₂ originel.
- **Les eaux de source** objet de cette étude sont des eaux qui, contrairement aux eaux minérales, doivent en principe répondre, à l'émergence, aux critères de potabilité et ne subir aucun traitement. Certaines tolérances existent toutefois pour ôter certains éléments instables, comme le fer dissous, par les mêmes moyens naturels que pour les eaux minérales.
- À ces deux types d'eaux, on peut opposer le terme « **eaux rendues potables par traitement** » (anciennement « eaux de table ») qui correspond à des eaux embouteillées dont le seul critère est de répondre aux normes de potabilité, tout traitement préalable étant autorisé.

II. LES EAUX MINÉRALES NATURELLES

II.1. Définition d'une eau minérale naturelle :

Selon le **JORA (2004)** c'est une eau microbiologiquement saine provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploitée à partir d'une ou plusieurs émergences naturelles ou forées, à proximité desquelles elle est conditionnée, elle se distingue nettement des autres eaux destinées à la consommation humaine par sa nature caractérisée par sa pureté, et par sa teneur spécifique en sels minéraux, oligo-éléments ou autres constituants.

Ces caractéristiques sont appréciées sur les plans :

- géologique et hydrogéologique,
- physique, chimique et physico-chimique,
- microbiologique,
- pharmacologique.

Certaines eaux minérales naturelles sont employées dans les stations thermales, en boissons ou en soins, à des fins curatives. (**Delarras et Trébaol, 2006**).

II.2. Classification des eaux minérales naturelles

D'après le **JORA (2004)** , les eaux minérales naturelles sont classées en :

II.2.1.Eau minérale naturelle non gazeuse :

L'eau minérale naturelle non gazeuse est une eau minérale naturelle qui, à l'état naturel et après traitement éventuel autorisé conformément aux dispositions de l'article 4 ci-après, et conditionnement, ne contient pas de gaz carbonique libre en proportion supérieure à la quantité nécessaire pour maintenir dissous .

II.2.2.Eau minérale naturelle naturellement gazeuse :

L'eau minérale naturelle naturellement gazeuse est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz est, après traitement éventuel autorisé conformément aux dispositions de l'article 4 ci-après, et conditionnement, la même qu'à l'émergence compte tenu des tolérances techniques usuelles.

II.2.3.Eau minérale naturelle dégazéifiée :

L'eau minérale naturelle dégazéifiée est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, après traitement éventuel autorisé conformément aux dispositions de l'article 4 ci-après et conditionnement, n'est pas la même qu'à l'émergence.

II.2.4.Eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source :

L'eau minérale naturelle renforcée au gaz carbonique de la source est une eau minérale naturelle dont la teneur en gaz carbonique, après traitement éventuel autorisé conformément aux dispositions de l'article 4 ci-après et conditionnement, n'est pas la même qu'à l'émergence et qui fait l'objet d'adjonction en gaz carbonique émanant de la source.

II.2.5.Eau minérale naturelle gazéifiée :

L'eau minérale naturelle gazéifiée est une eau minérale naturelle rendue gazeuse, après traitement éventuel autorisé conformément aux dispositions de l'article 4 ci-après et conditionnement, par addition de gaz carbonique d'autre provenance.

Et il est à souligner que **l'article 4 du JORA 2004** sus-cité, désigne qu'une eau minérale naturelle ne peut faire l'objet d'aucun traitement ou adjonction autre que :

o la séparation des éléments instables et la sédimentation des matières en suspension par décantation ou filtration

o l'incorporation de gaz carbonique ou la dégazéification.

II.3. Normes de qualité des eaux minérales naturelles

L'eau minérale naturelle est d'origine souterraine et microbiologiquement saine. Elle se caractérise par sa pureté originelle et la stabilité de sa composition en minéraux et oligo-éléments. Elle peut se voir reconnaître des propriétés favorables à la santé., sa teneur en minéraux et en oligo-éléments n'est pas toujours stable. (Maison des Eaux Minérales Naturelles , 2019)

Selon la réglementation algérienne, étant donné que les eaux minérales naturelles sont d'origine souterraine comme les eaux de sources et ont alors les mêmes caractéristiques organoleptiques , physiques et chimiques sauf les concentration de certains minéraux font la différence, alors elles sont soumises aux mêmes normes de qualité pour certains paramètres dont les concentrations sont similaires

II.3.1. Normes de qualité bactériologique des eaux minérales naturelles :

Tableau IV :Normes de qualité bactériologique des eaux minérales naturelles .

Micro-organismes	Limites bactériologiques (UFC/g)
<i>Escherichia coli</i>	Absence dans 250 ml
Entérocoques	Absence dans 250 ml
Spores anaérobies sulfito-réductrices	Absence dans 50 ml
Coliformes totaux	Absence dans 250 ml
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absence dans 250 ml

(JORA , 2017).

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

II.3.2. Normes de qualité physico chimique des eaux minérales naturelles :

Tableau V : Normes de qualité physico chimique des eaux minérales naturelles .

Groupe de caractéristiques	Caractéristiques	Unités	Concentrations
Caractéristiques organoleptiques	Couleur	Mg/l de platine (en référence à l'échelle platine/cobalt)	au maximum 25
	Saveur (seuil de perception à 25° C)		au maximum 4
	Odeur (seuil de perception à 25° C)	/	au maximum 4
Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau	PH	Unité PH	6,5 à 8,5
	Conductivité (à 20° C)	µs/ cm	au maximum 2800
	Dureté	Mg/l de Ca CO ₃	/
	Chlorures	Mg/l (Cl)	200 à 500
	Sulfates	Mg/l (SO ₄)	200 à 400
	Calcium	Mg/l (Ca)	75 à 200
	Magnésium	Mg/l (Mg)	150
	Sodium	Mg/l (Na)	200
	Potassium	Mg/l (K)	20
	Résidus secs après dessiccation à 180°C	Mg/l	2000
	Nitrates	mg/l de N ₀₃	50
	Nitrites	mg/l de N ₀₂	0.1
	Ammonium	mg/l de NH ₄	0.5

(JORA,2006 et JORA,2015).

CHAPITRE II :

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Notre stage pratique au sein de l'entreprise SPA AQUASIM Mouzaia «
fillière d'eau minérale naturelle » a duré 2 mois. C'était le lieu où nous avons effectué les analyses physico-chimiques et bactériologiques ainsi qu'à l'ADE Chiffa, où nous avons pu faire quelques analyses physico-chimiques supplémentaires .

I.1. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

I.1.1. Présentation du site de prélèvement :

Les échantillons analysés ont été prélevés de la nappe souterraine se situant sous l'entreprise AQUASIM Mouzaia , qui est une unité de production d'eau minérale naturellement gazeuse et boissons gazeuses aromatisées dans la commune de Mouzaia (Blida) (**Figure 1**), la nappe s'étend jusqu'à 90m de profondeur , avec un débit de 28 à 30 m³/h .



Figure 1 : Situation géographique de la nappe d'eau souterraine (36° 33'22 "N2° 41' 30" E)
(Google Earth , 2021)

Justification du choix de la zone d'étude : La zone en question a été choisie car c'est principalement une zone agricole et les risques de pollution diffuse sont grands.

I.2. Procédé de production de l'eau minérale naturellement gazeuse « MOUZAIA » :

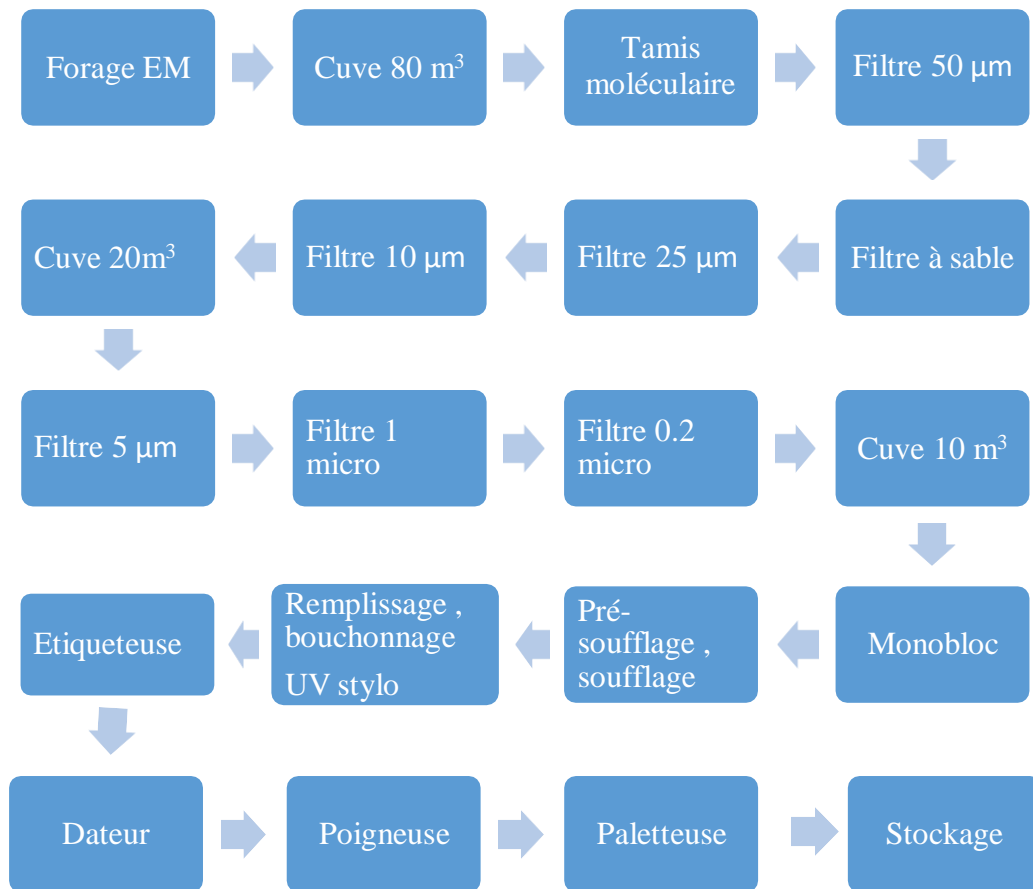


Figure 2: Procédé de production de l'eau minérale naturelle gazeuse « Mouzaia »

II. ÉCHANTILLONNAGE ET MODES DE PRÉLÈVEMENT :

Les prélèvements ont été effectués depuis le forage (avant traitement) et directement après la dernière filtration (après traitement).

II.1. Prélèvement pour l'analyse physico-chimique :

Des bouteilles en polyéthylène téréphtalate (P.E.T) de volume 1,5 L ont été utilisées, ces bouteilles ont été préalablement rincées avec l'eau à analyser puis remplies totalement, puis bien fermées tout en faisant attention à ne pas agiter la bouteille une fois fermée (**figure 3**).



Figure 3 : Prélèvements pour l'analyse physico-chimique depuis le forage et à la fin du traitement.

II. 2. Prélèvement pour l'analyse bactériologique :

Le prélèvement doit se faire dans des conditions optimales afin d'éviter toute contamination (**figure 4**).

- Ouvrir le robinet.
- Stériliser avec de l'alcool à 70%.
- Stériliser en flambant le robinet à l'aide d'un chalumeau afin de créer une zone stérile.
- Flamber la bouteille préalablement étiquetée
- Remplir la bouteille tout en gardant le bouchon en zone stérile
- Restériliser la bouteille en flambant.
- Refermer la bouteille et la restériliser en flambant.
- Placer la bouteille à l'intérieur d'une glacière afin de conserver les échantillons et les transporter au laboratoire.



Figure 4 : Prélèvements pour l'analyse bactériologique depuis le forage et à la fin du traitement.

III. ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES :

Tout le matériel utilisé pour l'analyse physico-chimique est cité dans l'annexe I.

III.1. Analyses physiques

III.1.1. Température

➤ **Mode opératoire :**

- Pour mesurer la température, il suffit d'ouvrir le robinet et de laisser couler l'eau pendant quelques minutes, puis introduire la sonde du thermomètre et le résultat s'affiche sur l'écran.

III.1.2. Conductivité électrique (NF T90-031)

➤ **Principe :**

La conductivité électrique d'une eau est une mesure du courant électrique conduit par les ions présents dans l'eau. Elle dépend de la concentration, nature des ions, de la température et la viscosité de la solution.

➤ **Mode opératoire :**

- 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.

- 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, le résultat est donné directement en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

III.1.3. Total de solides dissous (TDS)

➤ Mode opératoire :

- Verser une quantité des deux échantillons d'eau à analyser, dans des béchers, puis régler l'appareil multi-paramètre sur le paramètre TDS puis introduire la cellule de l'appareil et le résultat s'affiche sur l'écran.
- Verser une quantité des deux échantillons d'eau à analyser, dans des béchers, puis régler l'appareil multi-paramètres sur le paramètre O_2 , puis introduire la cellule de l'appareil dans l'échantillon et le résultat s'affiche sur l'écran.

III.1.4. Salinité

➤ Mode opératoire :

- Verser une quantité des deux échantillons d'eau à analyser, dans des béchers, puis régler l'appareil multi-paramètres sur le paramètre salinité, puis introduire la cellule de l'appareil dans l'échantillon et le résultat s'affiche sur l'écran.

III.1.5. Oxygène Dissous

➤ Mode opératoire :

Verser une quantité des deux échantillons d'eau à analyser, dans des béchers, puis régler l'appareil multi-paramètres sur le paramètre O_2 , puis introduire la cellule de l'appareil dans l'échantillon et le résultat s'affiche sur l'écran.

III.1.6. pH (NF T90-008)

➤ Principe :

La détermination électro métrique du pH s'effectue par mesure de la différence de potentiel entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCl saturé) plongeant dans une même solution, cette différence de potentiel est une fonction linéaire du pH de la solution. Selon la loi de Nernst, le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H^+ présents.

➤ Mode opératoire :

- Prendre environ 100ml d'eau à analyser.

- Mettre sous agitation faible.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Laisser stabiliser un moment puis noter le pH.

III.2. Analyses chimiques

III.2.1. Minéralisation globale

III.2.1.1. Titre hydrotimétrique (TH)

➤ **Mode opératoire :**

- Prendre 50ml de l'échantillon
- Ajouter 4ml de la solution tampon pH 10
- Une pincée de NET
- Bien mélanger, solution de coloration rose violacée.
- Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage bleu.

➤ **Expression de résultats :**

$$TH = V_2 \times 2 \times f_c \times F$$

Avec :

TH : dureté exprimée en °f

V_2 : volume d'EDTA en ml utilisé pour doser l'échantillon

f_c : Facteur de correction

F : Facteur de dilution

En pratique quotidienne courante, la formule devient :

$$TH = V_2 \times 2$$

III.2.1.2. Titre alcalimétrique (TA et TAC) et Bicarbonates (HCO_3^-)

➤ **Principe :**

Les déterminations des titres alcalimétriques sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré .

Le TA mesure la teneur des ions OH^- et des ions CO_3^{2-} alors que le TAC mesure la teneur des ions OH^- , CO_3^{2-} et HCO_3^- .

➤ **Mode opératoire :**

○ **TA**

- Prendre 100ml de l'échantillon
- Ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine , il en résulte une coloration rose.
- Doser avec l'acide chlorhydrique 0.1N jusqu'à décoloration de la solution.
- Dans le cas où il n'y a pas de coloration de la solution après ajout de la phénolphtaléine, le TA est égal à 0.

➤ **Expression de résultats :**

Le titre alcalimétrique simple est exprimé en °F est donné par la formule :

$$TA = V_1 \times N \times 1000 \times M_1 V$$

Avec :

V_1 : volume d'HCl utilisé pour le dosage

N : normalité de la solution d'HCl

M_1 : masse molaire de carbonate 60g

V : volume de la prise d'essai

Sachant que : 1°f correspond 6mg/l CO_3^{2-}

La formule devient :

$$TA (^{\circ}f) = V_1 \times 10$$

○ **TAC**

- Prendre 100ml de l'échantillon
- Ajouter quelques gouttes d'Hélianthine (une coloration jaune)
- Doser avec l'acide chlorhydrique 0.1N jusqu'à coloration rouge

➤ **Expression de résultats :**

Le titre alcalimétrique simple est exprimé en °f et est donné par la formule :

$$TAC = V_2 \times N \times 1000 \times M_2 V$$

Avec :

V_2 : volume d'HCl utilisé pour le dosage

N : normalité de la solution d'HCl

M_2 : masse molaire de bicarbonate HCO_3^- : 61g

V : volume de la prise d'essai

Sachant que : 1°f correspond 12.2mg/l HCO_3^-

La formule devient :

$$\text{TAC (°f)} = V_2 \times 5$$

- **Bicarbonates (HCO_3^-)**
- **Expression des résultats :**

$$C_{\text{HCO}_3^-} = \text{TAC} \times 12.2$$

III.2.3.3. Calcium (Ca^{2+}) et Magnésium(Mg^{2+})

- **Calcium (Ca^{2+})**
- **Principe :**

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

- **Mode opératoire :**

- Prendre 50ml de l'échantillon
- Ajouter 2ml de la solution de NaOH 2N
- Ajouter une pincée de murexide
- Bien mélanger
- Titrer avec la solution d'EDTA jusqu'au virage Violet

- **Expression de résultats :**

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

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{(V_1 \times C_1 \times F \times Fc \times A)}{V_0 \times 1000}$$

Avec :

V_1 : volume d'EDTA en ml utilisé pour le dosage

V_0 : volume en ml de la prise d'essai

C₁: concentration de la solution d'EDTA soit 0.01mol/l

A : masse molaire du calcium 40.08g

F : facteur de dilution

Fc : facteur de correction

○ **Magnésium (Mg 2⁺)**

➤ **Expression des résultats :**

$$C_{Mg^{2+}} = \frac{TH - [(Ca^{2+}) \times 0.25]}{0.42}$$

III.2.3.4. Chlorures (Cl⁻) (Méthode MOHR)

➤ **Principe :**

C'est la réaction des ions chlorures avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement par l'addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage.

➤ **Mode opératoire :**

- Prendre 100ml de l'échantillon .
- Ajouter 1ml de chromate de potassium .
- Titrer la solution par le nitrate d'argent goutte à goutte .
- Bien mélanger jusqu'à obtention de la coloration brune rougeâtre ainsi qu'un précipité brun .

➤ **Expression des résultats :**

La concentration en chlorures est exprimée en mg/l et donnée par la formule :

$$C_{Cl} = \frac{(V_s \times C \times M \times 1000)}{V_A}$$

Avec :

V_s: volume d'AgNO₃ en ml utilisé pour le dosage

V_A : volume en ml de la prise d'essai

C : concentration réelle d'AgNO₃ en mol/l

M : masse molaire du Cl : 35.453 g/mol

III.2.2. Paramètres de pollution

III.2.2.1- Ammonium (NH₄⁺)

➤ **Principe :**

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

➤ **Mode opératoire :**

- Prélever 40 ml d'échantillon à analyser, ajouter dans l'ordre : 4 ml du réactif coloré homogénéisé et 4 ml du réactif de Dichloroisocyanurate de sodium, et homogénéiser.
- Après au moins 60 mn, attendre le développement de la couleur. Effectuer les mesures spectrophotométriques à la longueur d'onde de 655nm comme nous avons procédé pour la gamme d'étalonnage.
- Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l d'ammonium.

III.2.2.2. Nitrites (NO₂⁻)

➤ **Principe :**

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

La minéralisation de la matière organique présente dans le sol est réalisée par des micro-organismes. L'azote minéral ainsi produit est ensuite transformée par des bactéries aérobies en nitrates. Cette transformation, appelée nitrification, comporte deux étapes: la nitrification qui produit des nitrites (NO₂⁻) et la nitrification qui transforme les nitrites en nitrates. Si les conditions de milieu le permettent, les nitrates seront utilisés par des bactéries anaérobies comme source

d'énergie et transformés en azote gazeux. Notons que les nitrates peuvent également s'adsorber et se fixer sur les argiles et humus. Les nitrites sont les sels de l'acide nitreux.

L'acide nitreux est un acide instable de formule HNO_2 , la formule de l'ion nitrite est NO_2^- .

➤ **Mode opératoire :**

- Introduire 50 ml d'échantillon, ajouter 1 ml du réactif mixte et attendre au moins 20 mn.

L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO_2^-

- Enfin, mesurer l'absorbance de chaque étalon à la longueur d'onde (environ 540 nm). Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités des réactifs mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.
- Les résultats sont affichés directement par le spectromètre en mg/l des nitrites.

III.2.2.3. Nitrates (NO_3^-)

➤ **Principe :**

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitro-salicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

➤ **Mode opératoire :**

- Introduire 10ml d'eau à analyser
- Ajouter 3 gouttes de la solution d'hydroxyde de Sodium à 30% .
- Ajouter 1 ml de solution de Salicylate de sodium à 0.5 % .
- Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88°C .
- Prendre le résidu avec 2 ml d'acide sulfurique concentré.
- Laisser reposer 10 minutes .
- Ajouter 15 ml d'eau distillée .
- Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium .
- Faire la lecture au spectromètre UV-Visible à la longueur d'onde de 415 nm.
- Les résultats sont affichés directement par le spectromètre UV-Visible en mg/l des nitrates.

III.2.2.4. Orthophosphates (PO_4^{3-})

➤ Principe :

C'est une réaction des ions orthophosphates avec une solution acide contenant des ions molybdate et d'antimoine pour former un complexe d'antimonyl-phosphomolybdate.

➤ Mode opératoire :

- Introduire 40 ml d'échantillon, ajouter 1 ml d'acide ascorbique et 2mL de réactif mélange dans une fiole jaugé de 50 ml. Compléter le volume.
- Effectuer parallèlement au dosage, un essai à blanc en suivant le même mode opératoire en utilisant les mêmes quantités de réactif mais en employant le même volume approprié d'eau distillée à la place de la prise d'essai.
- Effectuer la lecture grâce à un spectrophotomètre UV Visible (HACH DR6000) à une longueur d'onde de 880 nm.

IV. ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Une eau est dite conforme, quand les indicateurs de contamination (les coliformes et les streptocoques) sont absents dans les échantillons d'eau à analyser.

Tout le matériel utilisé pour l'analyse bactériologique est cité dans l'annexe I .

IV.1. Dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes (NF EN ISO 9308-1):

➤ Mode opératoire :

- Stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable et la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
- Le refroidir avec l'eau à analyser ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité de 0,45 μm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Verser aseptiquement 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince stérile, sur la surface d'une plaque de gélose Gélose lactosée au TTC et Tergitol préalablement préparée.

- Après avoir filtré l'eau étudiée pour la recherche des coliformes totaux.
- **Incubation :** pendant 18 à 24 h, à $36\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- **Lecture :** On considère comme positives toutes les colonies petites, lisses légèrement bombées à contours réguliers et pigmentées en jaune orangé ou en jaune (lactose positif).
- **Test de confirmation des coliformes fécaux :**
 - On effectue un repiquage d'une colonie sur la gélose TSA à partir de la gélose Tergitol et on incube à 37 °C pendant 24h.
 - **Test d'indole :**
 - On transfère une colonie caractéristique du premier milieu dans un tube du bouillon Tryptophane à l'aide d'une anse de platine et on incube à 44 °C pendant 24h.
 - **Test d'oxydase :**
 - Après 24h d'incubation, un test d'oxydase est réalisé où on prélève une colonie à partir de la gélose TSA avec une pipette Pasteur et on la dépose sur le disque directement.
 - **Expression des résultats :**
 - Une bactérie coliforme est toute colonie caractéristique (jaune), dépourvue de l'enzyme oxydase et non productrice d'indole.
 - Une bactérie *E.coli* présumée est toute colonie caractéristique (rouge), dépourvue de l'enzyme oxydase, mais productrice d'indole à 44 °C .
 - **Mesures et calcul du résultat :6**
 - On calcule la valeur a du nombre de bactéries coliformes et celle des *E. coli*, le résultat final sera exprimé selon l'équation mathématique suivante :

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

Avec :

A: Nombre de colonies repiquées.

b: Nombre de colonies caractéristiques présumées dans la boîte.

C : Nombre total de colonies trouvées dans la boîte.

IV.2. Entérocoques (NF EN ISO 7899-2) :

- **Mode opératoire :**
 - Stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable et la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.
 - Le refroidir avec l'eau à analyser ou bien avec de l'eau distillée stérile.

- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité de 0,45 μm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Verser aseptiquement 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince stérile, sur la surface d'une plaque de gélose SLANETZ et BARTLEY additionnée au TTC préalablement préparée.
- **Incubation** : 24 à 48 h à $36\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- **Lecture** : Considérer comme typiques toutes les colonies bombées montrant une couleur rouge, marron ou rose, soit au centre soit sur l'ensemble de la colonie.
- **Confirmation** :
 - Préchauffer le milieu Bile Esculine à $44^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant quelques minutes.
 - A l'aide d'une pince stérile, transférer la membrane présentant la ou les colonies suspectes et le déposer (sans retournement) sur la gélose Bile Esculine.
 - **Incubation** : à $44^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 2 heures.

IV.3. Anaérobies sulfito-réducteurs (NA 15 727) :

- **Mode opératoire** :
 - On prend 50 ml de l'eau à analyser, qu'on verse dans 10 tubes de 5 ml.
 - Les tubes sont chauffés à 80°C au bain marie pendant 10 min.
 - On les passe sous l'eau de robinet (choc thermique).
 - Filtrer l'eau à analyser à travers une membrane de porosité 0,2 μm puis la placer face supérieure tournée vers le bas dans le fond d'une boîte pétri qui contient une couche fine de la gélose VF.
 - Verser le milieu de culture avec additifs jusqu'au rebord de la boîte pétri.
- **Incubation** : $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ pendant $44 \pm 4\text{h}$.
- **Lecture et interprétation** : Dénombrer toute colonie noire.

IV.4. *Pseudomonas aeruginosa* (NF EN ISO 16266) :

- **Mode opératoire** :
 - Stériliser l'entonnoir gradué en acier inoxydable et la membrane poreuse à l'aide d'un bec bunsen.

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

- Le refroidir avec l'eau à analyser ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de porosité de 0,45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Verser aseptiquement 250 ml d'eau à analyser, selon les types d'eaux, devant un bec bunsen.
- Actionner ensuite la pompe à vide pour absorber l'eau à travers la membrane.
- Retirer l'entonnoir puis transférer immédiatement et aseptiquement la membrane à l'aide d'une pince stérile, sur la surface d'une plaque de gélose au Cétrimide préalablement préparée.
- **Incubation** : à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 44 ± 4 heures.
- **Lecture et interprétation** :
 - Les colonies pigmentées en bleu vert (pyocyanine) sont considérées d'emblée comme des colonies de *P.aeruginosa* : **compter le nombre de colonies.**
 - Les colonies qui présentent une fluorescence sous UV, seront repiquées sur bouillon à l'acétamide puis incubée à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 20 ± 4 h.
 - Après incubation, la production d'ammoniac à partir du bouillon à l'acétamide, après avoir ajouté une à deux gouttes du réactif de Nessler est caractérisée par un virage du jaune au rouge brique, et est en faveur de *P. aeruginosa* : **compter le nombre de colonies.**
 - Les colonies présentant une pigmentation brun rougeâtre sans fluorescence, nécessitent également une confirmation biochimique basée d'abord et avant tout sur l'oxydase.
 - Les colonies oxydase (+) seront ensuite repiquées d'une part, sur bouillon à l'acétamide qui sera incubé à $36 \pm 2^\circ\text{C}$ pendant 20 ± 4 h et d'autre part, sur King B.
- **Après incubation** :
 - La production d'ammoniac à partir du bouillon à l'acétamide, après avoir ajouter une à deux gouttes du réactif de Nessler est caractérisée par une décoloration du jaune au rouge brique, et est en faveur de *P. aeruginosa* : compter le nombre de colonies.
 - L'apparition d'une fluorescence sur milieu King B exposé aux UV (360 nm) est en faveur de *P. aeruginosa* : à compter.
 - Le nombre total de colonies de *Pseudomonas aeruginosa* N, présentes dans le volume d'eau à analyser est calculé par l'équation mathématique suivante :

$$N = P + F (cF / nF) + R (cR / nR)$$

CHAPITRE III :
RÉSULTATS ET DISCUSSION

I. RÉSULTATS DES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes de qualité physico-chimiques des eaux minérales naturelles (**JORA 2006 et JORA 2015**)

L'eau analysée a été captée à environ 80m de profondeur, alors sa composition est liée à la lithologie des roches traversées .

I.1. Paramètres physiques :

I.1.1. Température :

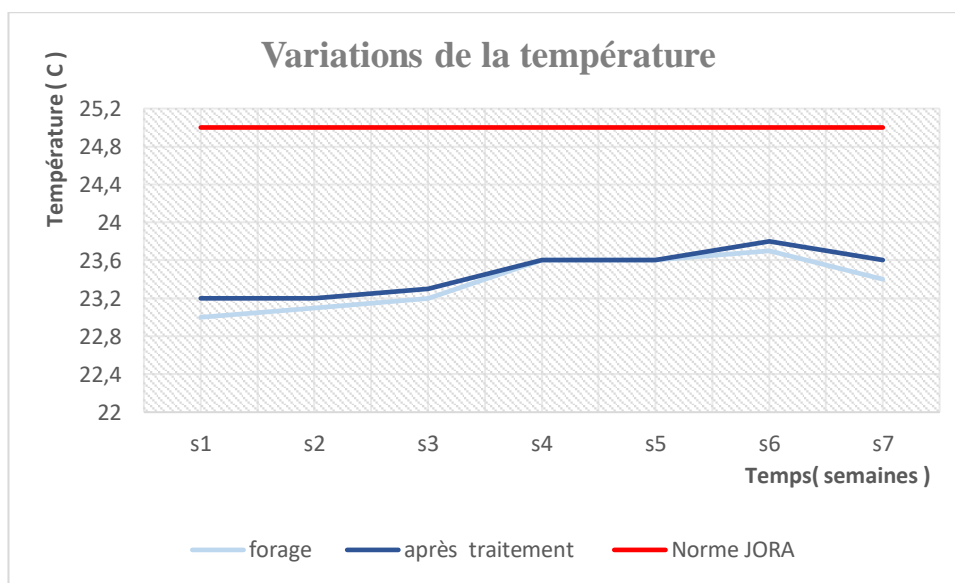


Figure 5 : Variations de la température.

Dans les échantillons analysés, la valeur moyenne de l'eau de forage est de 23.3 °C et de 23.5° C pour l'eau après traitement, alors elle est conforme aux normes **JORA 2006** (25 °C) .

La température joue un grand rôle dans l'eau, car c'est grâce à elle, que les réactions physico-chimiques et biologiques se passent.

I.1.2. Conductivité électrique :

La valeur moyenne de la conductivité dans l'eau de forage est de 1762.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et après traitement elle est égale à 1729.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$, elle est donc conforme aux normes **JORA 2006** (< 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$) , comme l'indique la **figure 6**.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

La conductivité nous informe sur la minéralisation globale de l'eau ainsi sur sa capacité de l'eau à conduire le courant électrique, et elle varie selon la richesse du terrain traversé en sels minéraux.

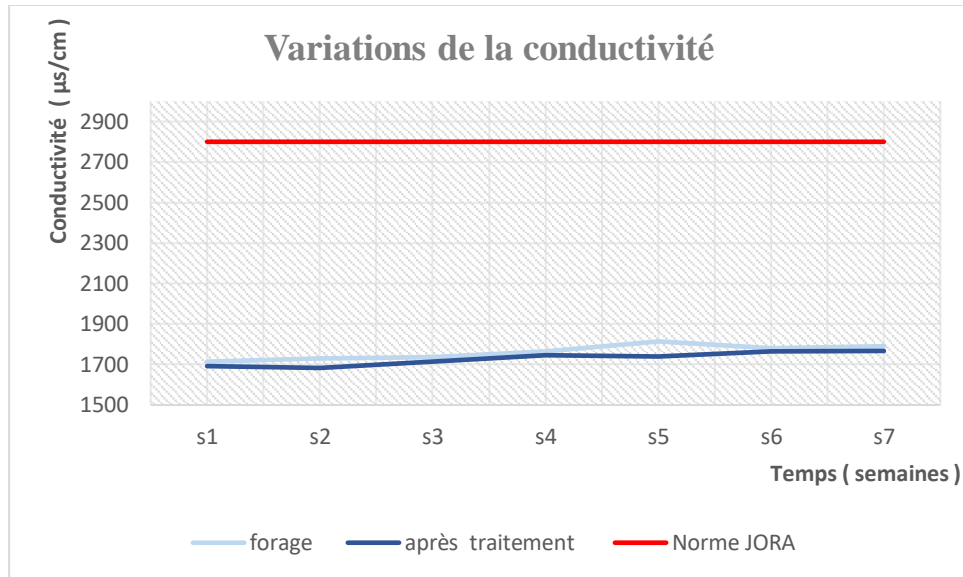


Figure 6 : Variations de la conductivité.

I.1.3.TDS :

La concentration moyenne des TDS dans l'eau de forage est de 883 mg/l et après traitement, elle est égale à 867.9 mg/l (Figure 7).

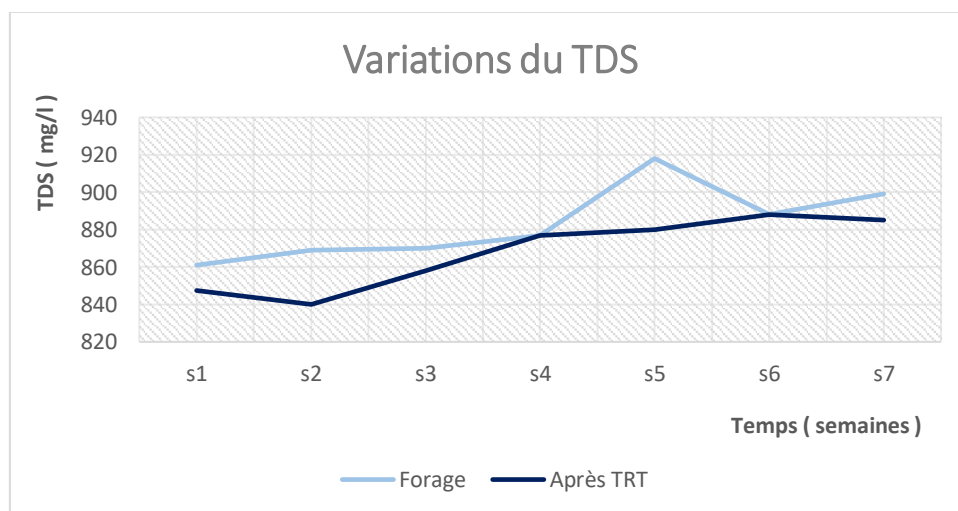


Figure 7 : Variations du TDS.

Ces quantités de solides dissous seraient dues aux fortes concentrations de calcium et magnésium dans les roches traversées.

I.1.4. Oxygène dissous :

La concentration moyenne d'O₂ dissous dans l'eau de forage est de 4.67 mg/l et après traitement elle est égale à 7.78 mg/l (**Figure 8**).

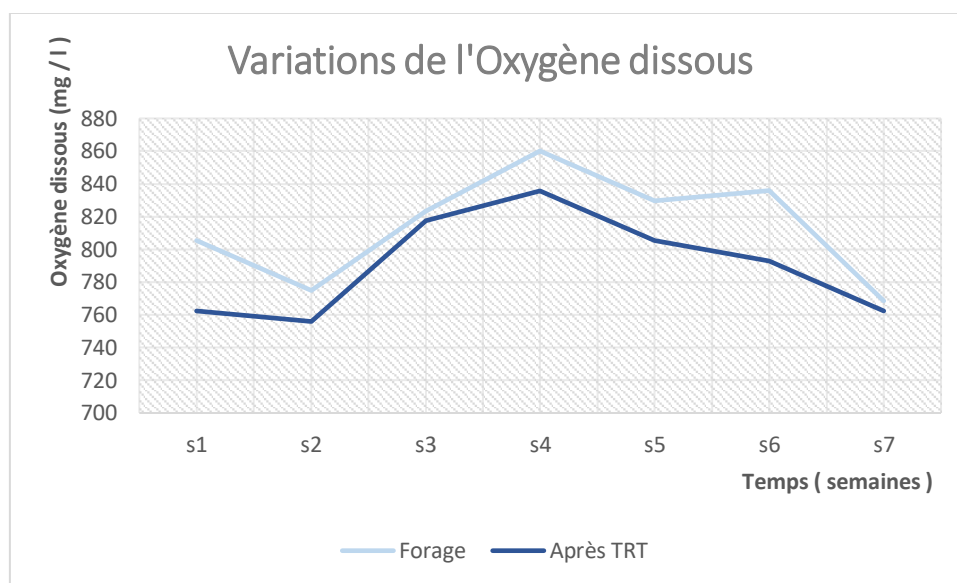


Figure 8: Variations de l'oxygène dissous .

L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération, car il renseigne sur l'état du puits et d'autre part il favorise la croissance des micro-organismes qui dégradent la matière organique (**Belghiti et al 2013**).

I.1.5. Salinité :

Le taux moyen de salinité dans l'eau de forage est de 0.88% et après le traitement il est égal à 0.87 % , comme le montre la **figure 9**.

La salinité serait due à la dissolution des sels minéraux lors du contact étroit entre roche-eau.

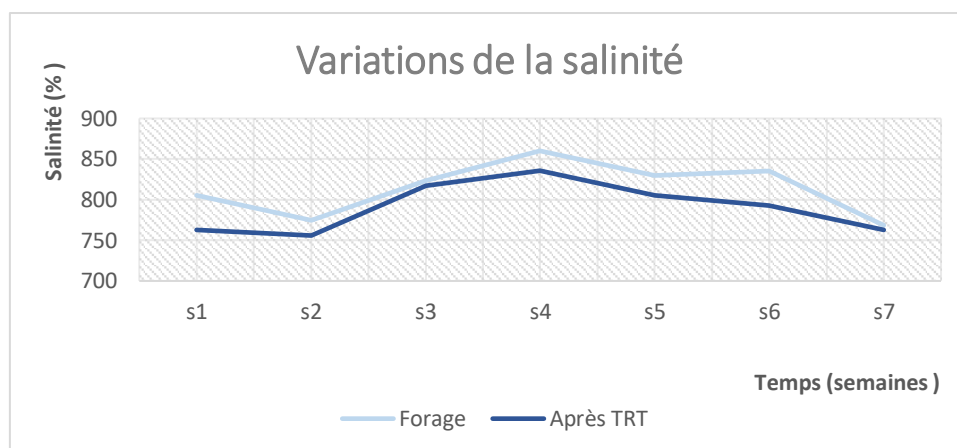


Figure 9 : Variations de la salinité .

I.1.6.pH :

La valeur moyenne du pH dans l'eau de forage est de 7.07 et après traitement elle est égale à 7.21 . D'après ces valeurs, on peut dire que cette eau est neutre et elle répond aux normes **JORA 2006** ($6.5 > PH < 9$) (**Figure 10**).

Le pH d'une eau est un facteur déterminant de la qualité de l'eau et plusieurs interactions biochimiques sont liées à ce dernier. Une eau alcaline est riche en carbone inorganique et donc le milieu est favorable pour les organismes aquatiques (**Boyd , 2015**) .

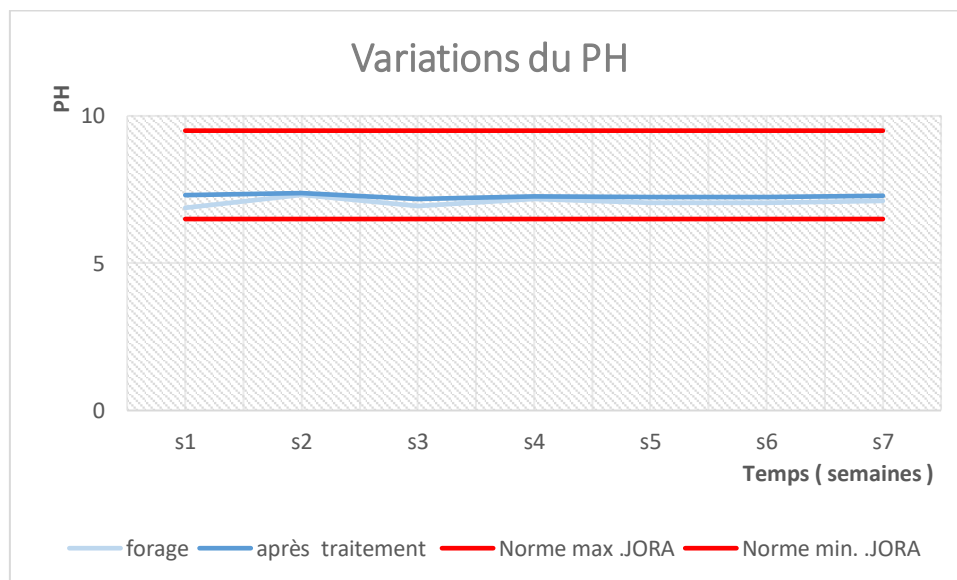


Figure 10 : Variations du pH .

I.2. Paramètres chimiques :

Les résultats des dosages sont illustrés dans l'annexe II .

I.2. 1. Minéralisation globale :

I.2.1.1. Titre hydrotimétrique (TH) :

La valeur moyenne du TH pour l'eau de forage est de 67.05 °f et après le traitement elle est égale à 64.28°f (**figure 11**) .

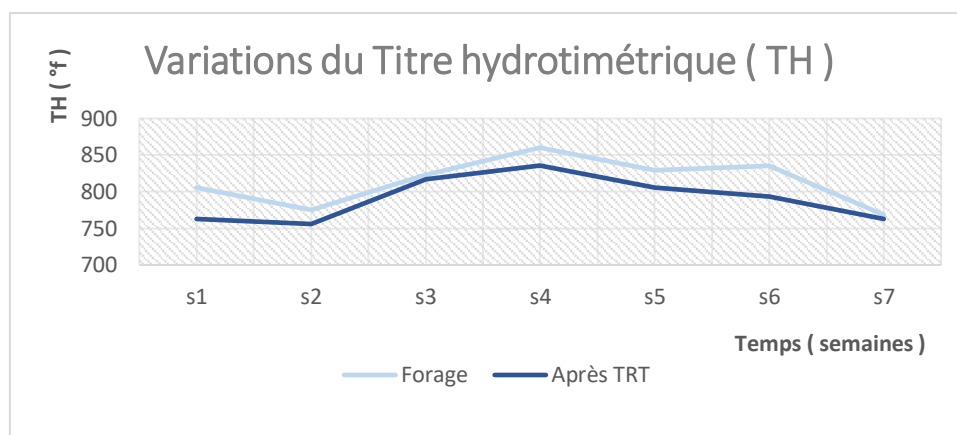


Figure 11 : Variations du titre hydrotimétrique (TH) .

Cela est attribué aux teneurs élevées en calcium (constituant dominant de la dureté) et du magnésium qui résulte principalement du contact des eaux minérale avec les formations rocheuses. Le calcium dérive de l'attaque du CO₂ dissout par les roches calcaires (dolomies) ou de la dissolution sous forme de sulfate dans le gypse (**Kellil et Sekiou , 2014**) .

I.2.1.2. Titre alcalimétrique (TA et TAC) et bicarbonate (HCO₃⁻) :

a- TA :

Dans les échantillons analysés , le TA est nul , cela serait dû à l'absence des carbonates , et cela est conforme aux normes .

b- TAC :

Les valeurs moyennes du TAC sont de 66.64°f pour l'eau de forage et de 64.82 °f après le traitement , elles semblent très élevées , la dissolution des roches carbonatées en serait la cause , comme l'indique la **Figure 12**.

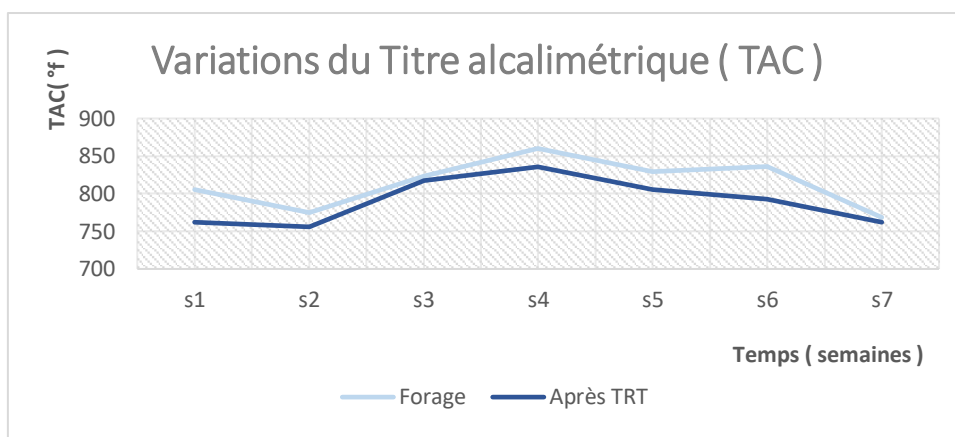


Figure 12 : Variations du titre alcalimétrique (TAC).

c- Bicarbonates :

La concentration moyenne du bicarbonate dans l'eau de forage est de 813.9 mg/l et de 790.3 mg/l après le traitement (**Figure 13**), il n'y a aucune réglementation à laquelle se référer pour ce paramètre mais comme l'eau étudiée est une eau minérale naturelle , alors ces concentrations pourraient être expliquées par le fait que cette eau ait influencée par la composition des roches traversées.

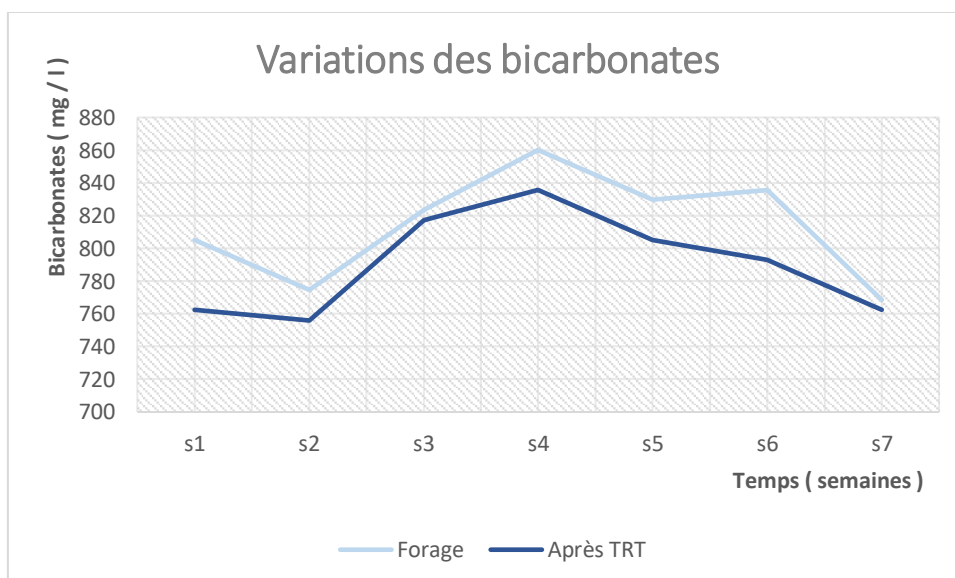


Figure 13 : Variations des bicarbonates .

Le remplacement chronique du bicarbonate est évidemment indiqué pour les patients qui continuent à perdre du bicarbonate en milieu ambulatoire, en particulier les patients atteints de syndromes d'acidose tubulaire rénale ou de diarrhée. (**Sabatini et Kurtzman , 2009**)

I.2.1.3. Calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}) :

a- Calcium :

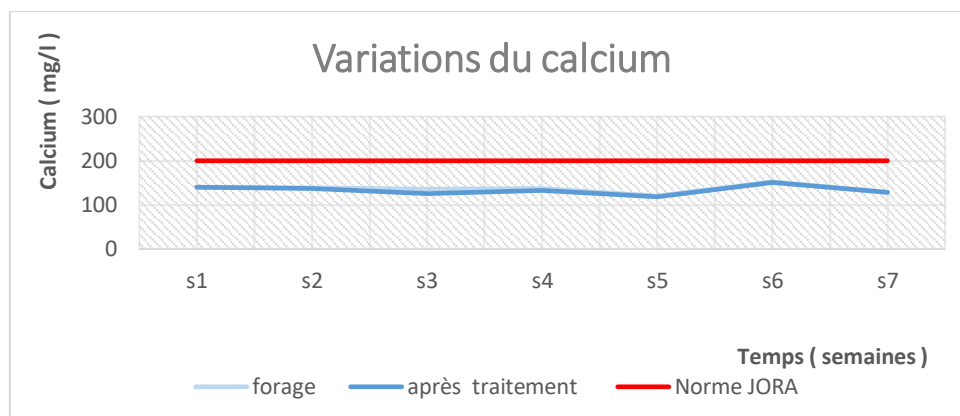


Figure 14 : Variations de calcium .

La concentration moyenne du calcium , concernant l'eau de forage elle est égale à 136.15 mg/l et après le traitement , elle est de 133.39 mg/l , cette eau est donc conforme aux normes **JORA 2015** (200 mg/l)

Cela serait dû à la dissolution des carbonates de calcium ainsi que temps de séjour de l'eau dans des formations géologiques riches en calcium.

Le calcium est nécessaire au bon fonctionnement de notre cœur, de nos muscles et de nos nerfs et à la coagulation du sang. Une carence en calcium contribue de manière significative au développement de l'ostéoporose. (**National Institute of Health , 2018**) .

b- Magnésium :

La concentration moyenne de magnésium dans l'eau de forage est égale à 83.35 mg/l et après le traitement elle est de 81.51 mg/l , donc cette eau est conformes aux normes **JORA 2015** (150 mg/l) ., comme il est indiqué dans la **figure 15** .

La dissolution des roches carbonatées et des minéraux magnésiens et l'échange cationique sont à l'origine la plus probable du magnésium dans les eaux minérales naturelles. (**Kellil et Sekiou, 2014**).

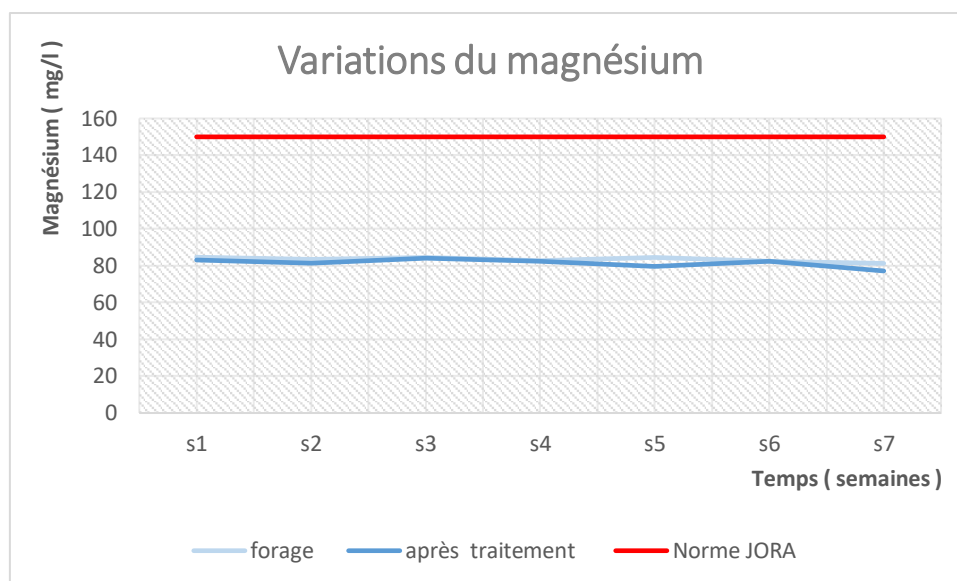


Figure 15: Variations du magnésium .

Le magnésium est le quatrième minéral le plus abondant dans le corps. Il a été reconnu comme cofacteur de plus de 300 réactions enzymatiques, où il est crucial pour le métabolisme de l'adénosine triphosphate (ATP). Le magnésium est nécessaire à la synthèse de l'ADN et de l'ARN, à la reproduction et à la synthèse des protéines. De plus, le magnésium est essentiel à la régulation de la contraction musculaire, de la pression artérielle, du métabolisme de l'insuline, de l'excitabilité cardiaque, du tonus vasomoteur, de la transmission nerveuse et de la conduction neuromusculaire. (Grober et al , 2015).

I.2.1.4.Chlorures (Cl⁻) :

La concentration moyenne des chlorures dans l'eau de forage est de 151.6 mg/l et après le traitement elle est égale à 148.65 mg /l , alors cette eau répond aux normes **JORA 2015** (< 500 mg/l) ; comme l'indique la **figure 16** .

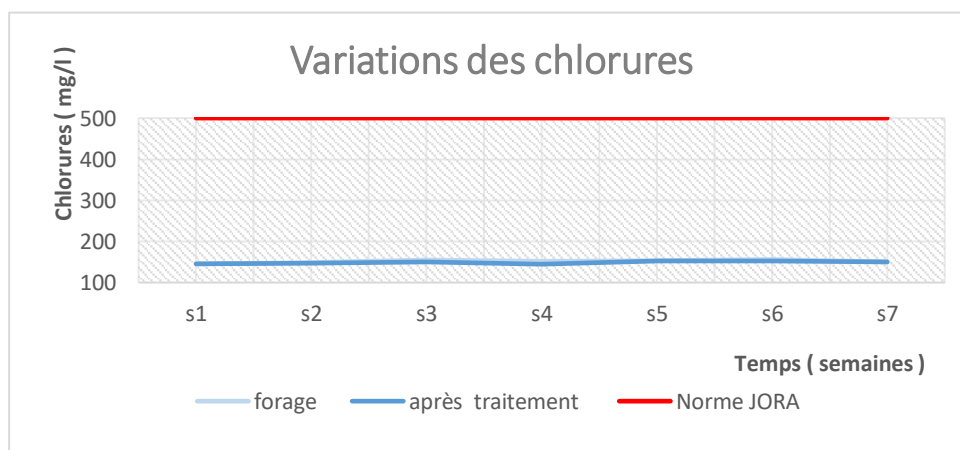


Figure 16 : Variations des chlorures .

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les chlorures dans les eaux minérales peuvent avoir de multiples origines, en particulier les interactions eau-roches ignées (Kellil et Sekiou , 2014).

I.2.2.Paramètres de pollution :

Pour les paramètres de pollution, deux échantillons (depuis le forage et après la filtration) seulement ont pu être analysés :

Les résultats obtenus (**tableau VI**) montrent que cette eau est conforme aux normes **JORA 2015**

Phase	Forage	Après filtration	Normes JORA
Concentration NH_4^+ (mg/l)	< 0.01	< 0.01	0.5
Concentration NO_2^- (mg/l)	0.008	0.006	0.1
Concentration NO_3^- (mg/l)	13.26	11.7	50
Concentration PO_4^- (mg/l)	< 0.01	< 0.01	0.5

Tableau VI : Concentrations des paramètres de pollution.

La présence des polluants sus-cités serait due à l'usage agricole des engrais et déchets urbains et leur dissolution puis infiltration .

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

II. RÉSULTATS DES ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les résultats obtenus ont été comparés aux normes de qualité microbiologique applicables aux denrées alimentaires, précisément les eaux minérales naturelles. (JORA , 2017) .

Phase Germes	Forage	Après filtration	Normes JORA
Coliformes totaux	Absence	Absence	Absence
<i>Escherichia coli.</i>	Absence	Absence	Absence
Entérocoques .	Absence	Absence	Absence
Anaérobies sulfite réducteurs .	Absence	Absence	Absence
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Absence	Absence	Absence

Tableau VII : Résultats des analyses bactériologiques effectuées .

D'après les résultats obtenus pour les cinq germes recherchés, on conclut que l'eau prélevée depuis le forage et après le traitement , répond aux normes **JORA 2017** , elle est donc saine, et ne contient aucun germe susceptible de nuire à la santé humaine , et peut-être consommée .

CONCLUSION

CONCLUSION

Notre étude avait pour objectif l'évaluation physico-chimique et bactériologique de la nappe d'eau souterraine de l'entreprise AQUASIM.

Alors il en ressort ce qui suit :

- Du point de vue physico-chimique, l'eau est de bonne qualité car sa composition physico-chimique , répond de manière générale aux normes JORA , sauf pour certains paramètres ; le calcium Ca^{2+} et les bicarbonates HCO_3^- qui dépassent légèrement les normes dont les moyennes respectives sont de 136.5 mg/l avant traitement et 133.39 mg/l après traitement et de 813.9 mg/l avant traitement et de 790.3 mg/l après traitement donc ces concentrations reflètent la composition minéralogique des roches que cette eau traverse , mais cela n'a aucun effet indésirable , car cette richesse en divers minéraux , aurait des bienfaits pour l'organisme et corrigerait certaines carences .

- Du point de vue bactériologique, cette eau est d'excellente qualité, car elle obéit aux normes JORA , et cela est dû à la profondeur à laquelle se trouve la nappe ce qui réduit les risques de contaminations .

RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achour S., (2015). Eaux algériennes : Préservation de la Qualité et Possibilités de Traitement, Éd. Universitaires européennes, P. 144, 09 p.
- Ayad, W.2017 Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines cas des puits de la région d'el Harrouch (wilaya de Skikda), Thèse de Doctorat université de Annaba.
- Belghiti, ML. Chahlaoui, A. Bengoumi, D. El Moustaine, R.(2013). Etude De La Qualité Physico-chimique Et Bactériologique Des Eaux Souterraines De La Ppe Plio quaternaire Dans La Région De Meknès (Maroc). LARHYSS Journal Volume 10, Numéro 3, Pages 21-36
- Bouziane, M. Labadi, A. 2009. Les eaux profondes de la région European Journal of Scientific Research, Volume 25, N°4. 526-537p.
- C.I.E. 2005. Centre d'information sur l'eau .www.Cieau.com.
- Coulibaly, K.2005 Etude physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako, Thèse de doctorat. Université de Bamako.
- Delarras C.2014. Pratique en microbiologie de laboratoire ? Recherche de bactéries et De levures-moisissures 800 p-p203
- Djellouli,H.M. Taleb S. (2005) Laboratoire de Chimie Analytique Appliquée Faculté des Sciences-Université D. LIABES de Sidi Bel- Abbès (Algérie) – 12 et 13 décembre 2005, Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara (CIRESS) Ouargla.
- Ducharne, A., et Laval, K. (2017).. Le cycle de l'eau. In L'eau à découvert (pp. 26 27). CNRS Éditions.
- Enmilia A., Monettea F., Yahiaata C., Amora M., Hedhlib A. et Azzouz A., (2020). Aluminosilicate-catalyzed electrochemical removal of ammonium cation from water kinetics and selectivity. Environmental Research, Vol. 185, P.10, 1p.
- Fondation Nationale de la Santé, FUNASA. 2013. Manuel pratique d'analyse de l'eau. 4ème édition Brasilia, Brésil. 150p.
- Futura sciences, 2021 . <https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie/salinite-4406/>. Consulté le 04/07/2021
- Ghazali, D. Zaid, A. 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des Eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknes-Maroc), Larhyss Journal, n° 12. 25-36p.
- Gröber, U., Schmidt, J., & Kisters, K. (2015). Magnesium in Prevention and Therapy. *Nutrients*, 7(9), 8199–8226. <https://doi.org/10.3390/nu7095388>

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Hecini, L. Achour, S. 2014. Coagulation-flocculation by aluminum sulfate of organic Phenolic compounds and effect of calcium and magnesium salts, Journal of WaterScience. 272-280p.
- JORA 2004, Journal Officiel de la République Algérienne N° 45, Décret exécutif n° 04-196 du 27 Joumada El Oula 1425 correspondant au 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source, p 9 10
- JORA, 2006, Journal officiel de la République algérienne. Arrêté interministériel du 22 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 22 janvier 2006 fixant les propo 55 d'éléments contenus dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source ains. Les conditions de leur traitement ou les adjoncti autorisées. P 9
- JORA 2011, Journal Officiel de la République Algérienne N° 18, Décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine.. p 6-9
- JORA, 2013, Journal Officiel de la République Algérienne, Décret exécutif n°14-96 du 2 Joumada El Oula 1435 correspondant au 4 mars 2014 modifiant et complétant le décret exécutif n° 11-125 du 17 Rabie Ethani 1432 correspondant au 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine p 25
- Kellil, A. Sekiou ,F. (2014). Caractérisation et classification empirique, graphique et statistique multivariable d'eaux embouteillées de l'Algérie : Sciences hydraulique, Lahryss journal, 20 : 225-246.
- Latifi S , 2019 . Etude de la vulnérabilité des nappes aquifères de la région de Guelma et évaluation du rôle des STEP dans la protection des eaux. Thèse de doctorat, université de Guelma .
- Lee, C-M., Hamm S-Y., Cheong J-Y., Kim K., Yoon H., Kim M., et Kim J. (2020). Contribution of nitrate-nitrogen concentration in groundwater to stream water in an agricultural head watershed. Environmental Research, vol. 184, P.15, 3p.
- Maza L., Pezzlo M., Bittencourt C., et Peterson E., (2020). Atlas des couleurs de la Bactériologie médicale. Ed. Ameri etan Society for Microbiology, P. 453, 25-145p.
- National Institute of Health. Calcium and Vitamin D: Important at Every Age | NIH Osteoporosis and Related Bone Diseases National Resource Center.
<https://www.bones.nih.gov/health-info/bone/bone-health/nutrition/calcium-and-vitamin-d-important-every-age#a> . consulté le 10/10/2021.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Nechad, K. Fadil, F. Fadil. 2014. Qualité physicochimique des eaux des sources Ain Regrag et Ain Sidi Bouali dans la région de Sefrou (Moyen Atlas, Maroc), Larhyss Journal. 127-146p.
- Ouanes, M. 2020. Effet De Changements Climatiques Sur La Qualite Des Eaux Souterraines De La Plaine De F'kirina De La W. D'oum El Bouaghi [Thèse de Doctorat, Université 8 Mai 1945 – Guelma].
- Patnaik P., (2018). Handbook of Environmental Analysis Chemical Pollutants in Air, Water, Soil, and Solid Wastes. Ed. CRC Press Taylor & Francis Group N°3, P.617. 229-273p.
- Rodier, J. Legube, B. Merlet, N. 2009. L'analyse de l'eau naturelle, eau résid 57 eau de mer physico-chimie, bact 1526p. et biologie, 9^{ème} édition, Dunod, Pa
- Ruch Y., Hansmann Y., Riegel P., Lefebvre N., Mazzucotelli J., Douiri N. et Argemi X., (2019). Pathogénicité des streptocoques impliqués dans les endocardites infectieuses. Médecine et Maladies Infectieuses. Ed. Elsevier, P. 49, 4 p.
- Sabatini , S. , Kurtzman , N. A. .2009 Bicarbonate Therapy in Severe Metabolic Acidosis , JASN, 20 (4) 692-695.
- Teillet, E. Cordelle, S. Urbano, C. Schlich, P. 2008. Déterminer le gout de l'eau ne coule pas de source. Conférence AgroStat, Session Sensometrie II. Centre européen des Sciences du gout, CNRS-UB-INRA en partenariat avec la lyonnaise des eaux, France. 9p.
- VAN DER GUN J. 2012 ; Groundwater and Global Change : Trends, Oppo Challenges, in WWDR4, UNESCO, .
- Wikhydro, 2013 http://wikhydro.developpementdurable.gouv.fr/index.php/Pollution_eaux , consulté le 11/06/2021

ANNEXES

ANNEXE I:

◆ **Matériel utilisé pour les analyses physico-chimiques**

Appareillage :

- Multi-paramètres
- Etuve
- Spectrophotomètre UV
- PH mètre
- Thermomètre

Verrerie et Matériels consommables

- Béchers graduée stériles
- Burettes
- Erlen Meyer
- Fioles graduée
- Pissette
- Pipette graduée

Réactifs, colorants et produits chimiques

- **TH :**
 - Solution étalon de calcium à 100mg/l
 - Solution d'EDTA 0.01 mol/l
 - Solution tampon à pH 10
 - Indicateur coloréUne pincée de noir eriochrome T.
- **TAC :**
 - Solution d'acide chlorhydrique 0.1N
 - Solution phénolphtaléine
 - Hélianthine

- **Calcium et Magnésium :**

- Solution étalon de calcium à 100mg/l
- Solution d'EDTA 0.01 mol/l :
- Solution d'hydroxyde de sodium 2N
- Indicateur coloréUne pincée de Murexide

- **Chlorures :**

- Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) à 0,02 mol/L
- Solution d'indicateur de chromate de potassium (K_2CrO_4) à 100 g/L
- Solution étalon de chlorure de sodium (NaCl) à 0.02 mol/L

- **Ammonium :**

- Réactif coloré
- Solution de Dichloroisocyanurate de sodium
- Solution mère étalon d'ammonium 100 mg/L
- Solution fille étalon d'ammonium 1 mg/L
- Solution de lavage

- **Nitrites :**

- Réactif mixte (Sulfanilamide + N-1-Naphtyl éthylène diamine)
- Solution étalon mère de nitrites 100 mg/L
- Solution étalon fille de nitrites 1 mg/L

- **Nitrates :**

- Solution de salicylate de sodium à 0,5 %
- Solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) 30 %
- Acide Sulfurique (H_2SO_4) concentré
- Tartrate double de sodium et de potassium
- Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/L
- Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/L

- **Orthophosphates :**

- Réactif Mixte (heptamolybdate d'ammonium + tartrate d'antimoine et de potassium + d'acide sulfurique pur)
- Acide ascorbique à 10 %

- ◆ **Matériel utilisé pour les analyses bactériologiques :**

Appareillage :

- Autoclave
- Etuve
- Bec bunsen
- Rampe de filtration en acier inoxydable stérilisable à la flamme (millipore)
- Bain marie
- Glacière
- Incubateurs
- Chalumeau
- Hotte

Verrerie et matériels consommables :

- Boîtes de Pétrie stériles
- Membranes de filtration stériles 0,45 μm et 0.22 μm
- Flacons en verre de 1L stériles
- Pincés

Milieux de culture :

- Gélose lactosée au TTC et Tergitol.
- Gélose Treptonnée au soja (TSA).
- Gélose de Slanetz et Bertley avec TTC.
- Gélose Bile Esculine Agar (BEA).
- Gélose Viande-Foie (VF).

- Gélose au cétrimide.
- Gélose King A.
- Gélose King B.

Composition des milieux :

- **Gélose lactosée au TTC et Tergitol :**

- Peptone 10,0 g
- Extrait de viande 5,0 g
- Extrait de levure 6,0 g
- Lactose 20,0 g
- Bleu de bromothymol 0,05 g
- Agar 13,0 g
- Eau distillée 1000 mL
- pH = $7,2 \pm 0,2$

- **Gélose Treptonnée au soja (TSA) :**

- Tryptone 15 g
- Peptone papainique de soja 5 g
- Chlorure de sodium 5 g
- Agar 15 g
- pH final = $7,3 \pm 0,2$
- Il doit être autoclavé pendant 15 min à 121 °C avant utilisation.

• Gélose de SLANETZ et BARTLEY :

- Tryptose..... 20,0 g
- Extrait autolytique de levure 5,0 g
- Glucose..... 2,0 g.
- Phosphate dipotassique 4, 0 g
- Azide de sodium 0,4 g
- Chlorure de 2, 3, 5- triphenyltetrazolium 0,1 g
- Agar..... 10,0 g
- Eau distillée 1000 mL
- pH = 7,2 ± 0,2

• Gélose Bile Esculine Agar (BEA) :

- Peptone..... 17,0 g
- Peptone pepsique de viande..... 3,0 g
- Extrait de levure..... 5, 0 g
- Esculine 1,0 g
- Citrate de sodium 1,0 g
- Citrate de fer ammoniacal 0,5 g
- Bile de bœuf déshydratée 10,0 g
- Azide de sodium 0,25 g
- Chlorure de sodium..... 5,0 g

• Gélose Viande-Foie (VF):

- Base viande foie..... 30,0 g
- Glucose..... 2,0 g
- Agar..... 6,0 g

-
-
- Eau distillée 1000 ml
 - pH= 7,4 ± 0,2
 - **Gélose au cétrimide :**
 - Peptones 26 g/l
 - Bromure de tétradonium (cétrimide') 0.2 g/l
 - Acide nalidixique (présence facultative) 0.015 g/l
 - Sulfate de potassium (K₂SO₄) 10,0 g/l
 - Chlorure de magnésium (MgCl₂) 1,4 g/l
 - Agar 10.0 g/l
 - pH = 7.1
 - **Gélose King A :**
 - Peptones dites « A » 20 g/l
 - Glycérol 10 g/l
 - Sulfate de potassium (K₂SO₄) 10,0 g/l
 - Chlorure de magnésium (MgCl₂) 1,4 g/l
 - Agar 12.0 g/l
 - pH = 7.1
 - **Gélose King B :**
 - Peptones dites « B » 20 g/l
 - Glycérol 10 g/l
 - Hydrogénophosphate de potassium (K₂HPO₄) 1.5 g/l
 - Sulfate de magnésium heptahydraté (MgSO₄,7 H₂O) 1.5 g/l
 - Agar 12 g/l
 - pH = 7.2

ANNEXE II :



**Dosage du titre
hydrochimétrique**



**Dosage du titre
alcalimétrique**



**Dosage des
orthophosphates**



**Dosage de l'ammonium
nitrates**



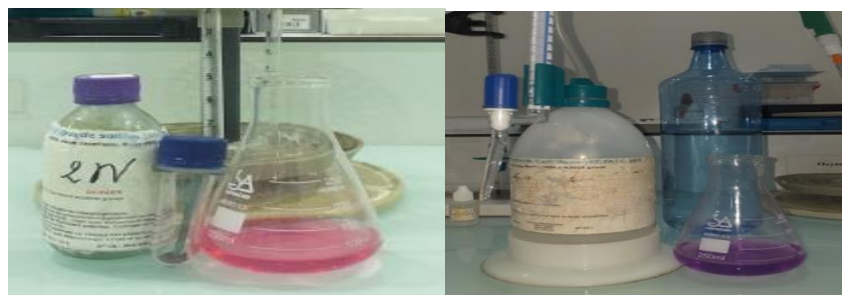
Dosage des nitrites



Dosage des



Dosage des chlorures



Dosage du calcium

Figure 17 : Résultats des analyses chimiques .