



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 محمد البشير الإبراهيمي برج بوعرييرج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم بيئة ومحيط

Département d'Ecologie et Environnement



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et Environnement

Spécialité : Biodiversité et Environnement

Intitulé :

**Contrôle Qualité des Eaux de Puits, Forages, et
Robinet**

Présenté par :

Djeddi Ilham Wafia & Remili Afrah

Soutenu le 11 / 06 /2024, Devant le Jury :

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	Dr. BELKASMI Farida	MCA	Université de B.B.A.
Encadrant :	Dr. BOUSSAHEL Soulef	MCA	Université de B.B.A.
Co-Encadrant :	Dr. MEKHOUKH Nasreddine	Doctorant	Université de Bejaïa.
Examineur :	Dr. LAOUFI Hadjer	MAA	Université de B.B.A.

Année Universitaire 2023/2024

Dédicace

Je dédie ce mémoire à mes chers père et mère qui ont toujours été à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En guise de remerciement, j'espère qu'ils trouveront ici l'expression de ma profonde gratitude pour tous les efforts et les moyens qu'ils ont mis pour me voir réussir mes études.

✚ À mes frère Ilyes et Ziad pour leur soutien moral et leurs précieux conseils tout au long de mes études

✚ A toute ma famille Djeddi et Larguet

✚ A mes tantes et leurs filles et spécialement ma tante Djeddi Ghania

✚ A tous mes amis, surtout Anissa

✚ À Mr. Jamal Lakhal

✚ A mes collègues Aymen Benchikh et Hicham Benzaaza

Merci beaucoup à tous et à toutes pour votre amour, votre confiance et votre soutien à mon égard, et je vous souhaite beaucoup de bonheur, si Dieu le veut

Dédicace

Avant tous c'est grâce à DIEU que je suis la

Je dédie ce modeste travail

✚ À ma chère mère : Mezhoud Samira

Aucune dédicace ne peut exprimer mon respect, mon amour éternel et ma gratitude pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon éducation et mon bien-être.

Merci pour tout le soutien et l'amour que vous m'avez apporté et j'espère que vos bénédictions m'accompagneront toujours. J'espère que cet humble travail comblera vos désirs exprimés et sera le fruit de vos innombrables sacrifices. Que Dieu vous accorde la santé, le bonheur et une longue vie.

✚ À la mémoire de mon père :

Ce travail est dédié à mon père, décédé trop tôt, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études.

J'espère que, du monde qui est sien maintenant, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prie pour son père. Qu'Allah te fasse miséricorde.

✚ À mon cher grand-père :

Les mots ne suffisent pas pour le remercier, que Dieu lui fasse miséricorde

✚ A mon frère Mouhamed et sa femme Chaima, et ma chère sœur Douaa : pour ses soutiens moraux et leur conseils précieux tout au long de mes études

✚ À ma chère grande mère Akila: qui je souhaite une bonne santé

✚ À tout la famille Mezhoud

✚ À Mon seul oncle Hamza ; mes tantes et leurs filles : Amani , Ibtihal ,Anfal ,Tasnime .

✚ Merci beaucoup pour tous vos confiance l'amour je vous souhaitez beaucoup de bonheur

In chaa Allah

Remerciement

- ✚ Nous remercions avant tout Dieu Tout-Puissant qui nous a donné force et foi. Et nous sommes arrivés ici grâce à lui.
- ✚ Merci à la personne qui a encadré ce travail Dr. Boussahel Soulef pour tous ses conseils judicieux et son soutien tout au long de la préparation de ce travail ainsi que pour ses encouragements.
- ✚ Une remerciement spéciale à Mr. Mekhoukh Nasreddine le co-encadreur et ingénieur de laboratoire pour tous les efforts qu'il a fourni pour l'aboutissement de ce travail et pour son aide, sa gentillesse et pour sa disponibilité tous les instants et qui a toujours manifesté sa disponibilité à aider, orienter. Merci beaucoup pour tout ce que vous nous avez donné.
- ✚ Nous remercions également les membres du jury pour l'honneur qu'ils font en acceptant de participer au jury : Dr Laoufi Hadjer et Dr Belkasmi Farida.
- ✚ Nous remercions vivement nos parents et frères qui nous ont beaucoup soutenus durant les moments difficiles.
- ✚ Sans oublier l'agriculteur de la ferme Mr Djeddi Fouade qui nous donné des informations et toute personnes qui a contribué directement ou indirectement à notre formation et la réalisation de ce modeste travail.

Merci



Table des matières

Dédicace	
Remerciement	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Résumé	
Introduction.....	01

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralités sur l'eau	03
1.1.Définition et intérêt de l'eau	03
1.2.La répartition de l'eau sur la planète.....	03
1.3.Le cycle de l'eau.....	04
1.4.Etats de l'eau.....	05
1.4.1. État solide.....	05
1.4.2. État gazeux.....	05
1.4.3. État liquide.....	05
1.5. Définition de l'eau potable.....	05
1.6. Les principaux types de sources d'approvisionnement en eau.....	06
1.6.1. Les eaux de surface	06
1.6.2. Les eaux souterraines	06
1.6.2.1. L'eau de puits.....	06
1.6.2.2. L'eau de forage	06
1.6.3. Les eaux de mer.....	07
1.6.4. Les eaux de pluie	07
1.7. Paramètres physico-chimiques	07
1.7.1. La température	07
1.7.2. Potentiel d'hydrogène pH	07
1.7.3. Conductivité	08
1.7.4. La Turbidité	08
1.7.5. La salinité.....	08
1.7.6. La teneur en sel dissous (TDS).....	08
1.7.7. Les résidus secs	08
1.7.8. La matière en suspension (MES)	08
1.7.9. Alcalinité (TA-TAC)	09
1.7.10. Chlorures.....	09
1.7.11. Les Nitrates	09
1.7.12. Les nitrites	09
1.7.13. La Dureté totale	09
1.7.14. Les Sulfates.....	10
1.7.15. Matières organiques	10
1.8. Paramètres bactériologiques.....	10
1.8.1. Les Germes totaux.....	10
1.8.2. Les Coliformes totaux.....	10
1.8.3. Les Coliformes fécaux.....	11
1.9. Pollution de l'eau	11

1.9.1. La classification de la pollution selon le polluant.....	11
1.9.1.1. Pollution physique.....	11
1.9.1.1.1. Pollution solide.....	11
1.9.1.1.2. Pollution thermique.....	11
1.9.1.1.3. Pollution radioactive.....	12
1.9.1.2. Pollution chimique	12
1.9.1.3. Pollution microbiologique.....	12
1.10. Les maladies à transmission hydrique	12

PRESENTATION DES SITES

1. Présentation des sites.....	14
1.1.Forage de la ferme Michaux.....	14
1.2.Forage et puits de la ferme Bergé.....	15
1.3.Eau du robinet.....	16

MATERIELS ET METHODES

1. Prélèvement des échantillons d'eau.....	17
2. Control qualité de l'eau.....	17
2.1.Les paramètres physico-chimiques.....	17
2.1.1. La température, la conductivité électrique, la salinité et les sels dissous (TDS).....	17
2.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)	18
2.1.3. La turbidité.....	18
2.1.4. Les résidus secs (RS).....	18
2.1.5. La matière en suspension (MES).....	19
2.1.6. L'alcalinité.....	19
2.1.6.1. Le titre Alcalimétrique simple (TA).....	
2.1.6.2. Le titre alcalimétrique complet TAC.....	20
2.1.7. Dosage des chlorures.....	21
2.1.8. Dosage des nitrates.....	22
2.1.9. Dosage des nitrites.....	23
2.1.10. Dureté totale.....	24
2.1.11. Détermination des Sulfates (SO ₄ ²⁻).....	24
2.1.12. Matière organique.....	25
2.2.Les Paramètres Bactériologiques.....	25
2.2.1. Stérilisation du matériel.....	26
2.2.2. Préparation des milieux de culture.....	26
2.2.2.1.Préparation de la gélose.....	26
2.2.2.2.Préparation du gélose glucose biliaire rouge violet (VBRG).....	27
2.2.3. Préparation de l'eau physiologique.....	27
2.2.4. Technique de dilution en série	27
2.2.5. Techniques de dénombrement en milieu solide.....	28
2.2.5.1.Dénombrement de la flore mésophile aérobie total (FMAT) par incorporation en gélose.....	28
2.2.5.2.Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux par incorporation en VBRG.....	30

RESULTATS ET DISCUSSION

1. Les paramètres physico-chimiques.....	32
1.1.La Température.....	32

1.2.Le potentiel hydrogène (pH).....	32
1.3.La Conductivité électrique.....	33
1.4.La salinité.....	34
1.5.La teneur en sel dissous (TDS).....	35
1.6.La turbidité.....	36
1.7.La matière en suspension (MES).....	37
1.8.Les résidus secs.....	37
1.9.L'Alcalinité (TA- TAC).....	38
1.10. Les chlorures.....	39
1.11. Dosage des nitrates.....	40
1.12. Dosage de nitrite.....	41
1.13. La dureté totale.....	42
1.14. Les sulfates.....	43
1.15. Matière organique.....	43
2. Paramètres Bactériologiques.....	44
2.1.Flore mésophile aérobie total (FMAT).....	44
2.2.Les coliformes totaux.....	45
2.3.Les coliformes fécaux.....	45
Conclusion	47
Références bibliographiques	

LISTE DES FIGURES

N° figure	Titres	N° page
01	Une molécule d'eau (Beauchamp, 2005).	03
02	Répartition de l'eau douce (Bouziani, 2006).	04
03	Cycle général de l'eau (SARI, 2014).	05
04	Forage de la ferme Michaux.	14
05	Forage de la ferme Bergé.	15
06	Puits de la ferme Bergé.	16
07	Robinet du laboratoire.	16
08	Dénombrement de coliforme et FMAT en milieu solide.	31
09	Les valeurs de la température des échantillons d'eau.	32
10	Les valeurs du potentiel hydrogène (pH) des échantillons d'eau.	33
11	Les valeurs de la conductivité électrique dans les échantillons d'eau.	34
12	Les valeurs de la salinité dans les échantillons d'eau.	35
13	La teneur en sel dissous TDS dans les échantillons d'eau.	36
14	Les valeurs de la turbidité dans les échantillons d'eau.	36
15	Les valeurs de la matière en suspension (MES) dans les échantillons d'eau.	37
16	Les valeurs des résidus secs dans les échantillons d'eau.	38
17	Les valeurs du titre alcalimétrique complet (TAC) dans les échantillons d'eau.	39
18	Les valeurs du chlorure dans les échantillons d'eau.	40
19	Les valeurs des nitrates dans les échantillons d'eau.	41
20	Les valeurs des nitrites dans les échantillons d'eau.	41
21	Les valeurs de la dureté totale dans les échantillons d'eau.	42
22	Les valeurs du sulfate dans les échantillons d'eau.	42

LISTE DES TABLEAUX

01	Maladies provoquées par les micro-organismes contaminants l'eau	13
02	L'expression de la valeur du TA.	20
03	L'expression de la valeur du TAC	21
04	Les valeurs de FMAT dans les échantillons d'eau.	44
05	Les valeurs des coliformes totaux dans les échantillons d'eau.	45
06	Les valeurs de coliformes fécaux dans les échantillons d'eau.	45

LISTE D'ABREVIATION

%	Pourcentage
C°	Degré Celsius
µm	Micromètre
µS/cm	Micro Siemens Par Centimètre
ADE	Algérienne Des Eaux
AgNO ₃	Nitrate D'argent
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
Cl ⁻	Chlorure
CO ₂	Dioxyde De Carbone
D	Densité
EDTA	Sel Di Sodique De L'acide Ethylene_Diaminetétracétique
f°	Degrés Française
Fd	Facteur De Dilution
FMAT	Flore Mésophile Aérobie Totale
G	Gramme
g/l	Gramme Sur Litre
H ⁺	Ions D'hydrogène
H	Heurs
H ₂ O	L'eau
H ₂ SO ₄	Acide Sulfurique
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCL	Acide Chlorhydrique
JORA	<i>Journal Officiel De La République Algérienne</i>
KCl	Chlorure De Potassium
Km ³	Kilometer Cube

KMNO ₄	Permanganate De Potassium
M	Mètre
mEq	Milliéquivalent
mEq/l	Milliéquivalent Sur Litre
MES	Matière En Suspension
mg	Magnésium
mg.l ⁻¹	Milligrammes Par Litre
mg/l	Milligramme Par Litre
min	Minute
ml	Millilitre
MO	Matière Organique
N	Normalité
Na ₂ SO ₄	Sodium Sulfate
NaCl	Chlorure De Sodium
nm	Nanomètre
NO ₂	Nitrite
NO ₃	Nitrate
NTU	Néphélométrie Turbidité Unit
OMS	Organisation mondiale de la Santé
Pb	Plomb
PCA	Plate Count Agar
PCB	Polychlorobiphényles
pH	Potentiel D'hydrogène
RS	Résidus Secs
SNV	Sciences De La Nature Et De La Vie Et Des Sciences De La Terre Et De L'univers
SO ₄ ²⁻	Sulfate
TA	Titre Alcalimétrique Simple
TAC	Titre Alcalimétrique Complet

TDS	La Teneur En Sels Dissous
UFC	Unité Formant Colonie
UV	Ultra-Violet
V	Volume
VBRG	Gélose Glucose Biliaire Rouge Violet
Zn	Zinc

Résumé

L'objectif de cette étude est le control de quelques paramètres de qualité physicochimique et bactériologique de l'eau destiné à la consommation humaine et à l'irrigation. Cette eau est issue de plusieurs sources (forage Michaux, forage Bergé, puits Bergé et robinet du laboratoire) situées au sud-est de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les paramètres physicochimiques étudiés sont : la température, le potentielle de l'hydrogène, la conductivité, la turbidité, la dureté totale, le titre alcalimétrique complet, le chlorure, les nitrates, les nitrites, les sulfates, la matière organique, la matière en suspension, les teneurs en sels dissous. D'autre part, les paramètres bactériologiques étudiés sont la flore mésophile aérobie totale (FMAT), les coliformes fécaux et les coliformes totaux. Les résultats indiquent que L'eau du forage Michaux est caractérisée par une minéralisation et une salinité élevée. Il est contaminé par le chlorure, la matière organique et les coliformes totaux. Le puits Bergé est contaminé par la matière organique et le chlorure, il est faiblement minéralisé et ne comporte aucune contamination bactérienne. L'eau du forage Bergé est classée comme moyennement minéralisée il est aussi contaminé par la matière en suspension, la matière organique et la FMAT. Le robinet du laboratoire quant à lui, est classée comme une eau riche en sels minéraux totale, il est contaminé par le chlorure, la Matière en suspension, la matière organique et la FMAT. En conclusion la qualité des eaux étudiées n'est pas totalement conforme aux normes, quelques contaminants ont été découvert et doivent subir des traitements pour éviter tout risque aux consommateurs. En perspectives, Il est souhaitable de compléter ce travail par un suivie continue des paramètres de qualités d'eau pour comprendre les causes réelles qui contribuent à la contamination et les régler. Il sera aussi de grand intérêt d'étudier la réponse des plantes vis-à-vis des contaminations existantes dans l'eau d'irrigation.

Mots clés : Eau, qualité, physicochimique, bactériologique, forage, puits, robinet.

Abstract

The objective of this study is to control some physicochemical and bacteriological quality parameters of water intended for human consumption and irrigation. This water comes from several sources (Michaux Well drilling, Bergé Well drilling, Berge well and laboratory tap) located in the Southeast of the wilaya of Bordj Bou Arreridj. The physicochemical parameters studied are: temperature, hydrogen potential, conductivity, turbidity, total hardness, complete alcalimetric titer, chloride, nitrates, nitrites, sulfates, organic matter, Suspended solids and dissolved salt contents. On the other hand, the bacteriological parameters studied are the total aerobic mesophilic flora (FMAT), fecal coliforms and total coliforms. The results indicate that the water from the Michaux Well drilling is characterized by high mineralization and high salinity. It is contaminated with chloride, organic matter and total coliforms. The Bergé well is contaminated by organic matter and chloride, it is weakly mineralized and does not contain any bacterial contamination. The water from the Bergé Well drilling is classified as moderately mineralized; suspended matter, suspended solids and FMAT also contaminate it. The laboratory tap, for its part, is classified as water rich in total mineral salts, it is contaminated by chloride, suspended solids, organic matter and FMAT. In conclusion, the quality of the water studied does not fully comply with standards, some contaminants were discovered and must undergo treatment to avoid any risk to consumers. In perspective, it is desirable to complete this work with continuous monitoring of water quality parameters to understand the real causes which contribute to contamination and resolve them. It will also be of great interest to study the response of plants to existing contamination in irrigation water.

Key words: Water, quality, physicochemical, bacteriological, well, well drilling, tap.

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو دراسة بعض معايير الجودة الفيزيائية والبكتريولوجية للمياه المخصصة للاستهلاك البشري والري. تأتي هذه المياه من عدة مصادر (بئر ميشو وبئر بيرجي ونقب بيرجي وصنبور المختبر) الواقعة في الجنوب الشرقي من ولاية برج بوعريريج. العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تمت دراستها هي: درجة الحرارة، جهد الهيدروجين، التوصيل، العكارة، الصلابة الكلية، العيار القلوي الكامل، الكلوريد، النترات، النتريت، الكبريتات، المادة العضوية، المادة المعلقة، محتويات الملح المذاب. من ناحية أخرى، فإن المعلمات البكتريولوجية التي تمت دراستها هي إجمالي النباتات الهوائية متوسطة الحجم والقولونيات البرازية، والقولونيات الكلية. تشير النتائج إلى أن المياه القادمة من بئر ميشو تتميز بالتمعدن والملوحة العالية. وهي ملوثة بالكلوريد والمادة العضوية والقولونيات الكلية. أما بئر بيرجي فهو ملوث بالمادة العضوية والكلوريد، وهو ضعيف التمعدن ولا يحتوي على أي تلوث بكتيري. وتصنف المياه من بئر بيرجي على أنها متوسطة التمعدن، كما أنها ملوثة بالمادة العالقة والمادة العضوية وتصنف حنفية المختبر من جهتها على أنها مياه غنية بالأملاح المعدنية الكلية، وهي ملوثة بالكلوريد والمادة العالقة والمادة العضوية. في الختام، فإن نوعية المياه التي تمت دراستها لا تتوافق بشكل كامل مع المعايير، وتم اكتشاف بعض الملوثات ويجب أن تخضع للمعالجة لتجنب أي خطر على المستهلكين. ومن المرغوب فيه استكمال هذا العمل من خلال المراقبة المستمرة لمعايير جودة المياه لفهم الأسباب الحقيقية التي تساهم في التلوث وحلها. سيكون أيضًا من المثير للاهتمام دراسة استجابة النباتات للتلوث الموجود في مياه الري

الكلمات المفتاحية: الماء، النوعية، التحاليل الفيزيوكيميائية، التحاليل البكتريولوجية، البئر، صنبور

Introduction

INTRODUCTION

L'eau constitue un élément indispensable pour la vie des hommes, des animaux et des plantes, elle représente un pourcentage très important dans la constitution de tous les êtres vivants (70 % du poids du corps humain) (**Benaïssa *et al.*, 2016**). Avoir de l'eau à disposition en quantité et en qualité suffisantes contribue au maintien de la santé. L'eau mérite une attention toute particulière, dans la mesure elle est très menacée par les activités humaines (**Kahoul *et al.*, 2014**).

Une eau destinée à la consommation humaine est potable, lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles de nuisance, à plus ou moins long terme à la santé des individus. Par conséquent cette eau doit satisfaire certaines caractéristiques afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de la santé publique. En effet, la qualité de l'eau est altérée par une surcharge en matières organiques, par des substances toxiques provenant des activités agricoles et par des effluents industriels et domestiques rejetés dans le milieu récepteur sans traitement (**Benaïssa *et al.*, 2016**).

Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, ne signifie pas qu'elle est exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre la santé du consommateur en danger. L'eau souterraine, qui est généralement de meilleure qualité que celle de surface peut être vulnérable à la contamination, et des précautions doivent être prises pour assurer un approvisionnement en eau de bonne qualité. Malgré qu'elle puisse avoir une apparence claire et n'avoir aucune odeur ou saveur particulière, 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 (**Fakih lanjri *et al.*, 2014**).

Les objectifs de cette étude sont d'une part l'évaluation des paramètres de qualité physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eaux issues de différentes sources localisées dans la région sud-est de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (El Anasser et Ras El-Oued) et d'autre part le travail vise à comparer les résultats obtenus avec les différents échantillons pour une meilleure connaissance des ressemblances et des différences entre eux. Les eaux utilisées sont issues de deux forages, un puits et un robinet. Ils sont une source destinée à la consommation humaine, destinée à l'irrigation agricole (cas deux forages et

puits) et au lavage et nettoyage (cas du robinet de laboratoire). Le travail vise aussi à avoir une idée sur l'état de l'eau souterraine dans la région.

Partie
Bibliographique

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralité sur l'eau

1.1. La molécule de l'eau

L'eau est une matière très importante pour la survie des êtres vivants. C'est un composé incolore, inodore (Hamoudi, 1999) in (Mechid *et al.*, 2020).

Bien que la formule H_2O soit relativement simple, il existe de très nombreuses combinaisons possibles des éléments hydrogène et oxygène qui comportent chacune plusieurs isotopes (figure 01) (Boglin, 2009).

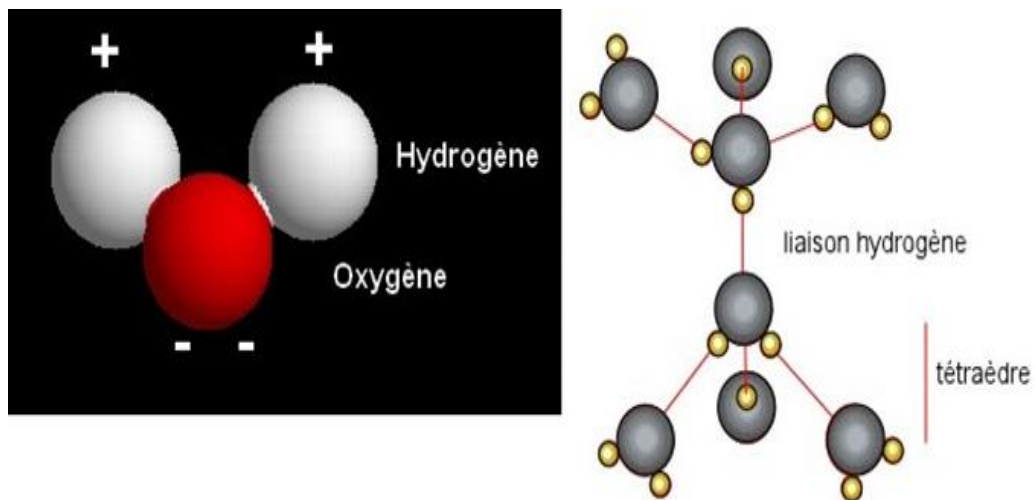


Figure 01. Une molécule d'eau (Beauchamp, 2005)

Chaque atome d'hydrogène et celui d'oxygène mettent en commun chacun un électron pour former deux liaisons chimiques de forte énergie : « les liaisons de covalence ». Cet arrangement électronique confère à la molécule d'eau une grande stabilité chimique. La molécule d'eau se comporte comme un dipôle électrique, cette répartition des charges permet de comprendre certaines propriétés physico-chimiques (solvant-soluté), car cette propriété électrique est responsable du grand pouvoir dissolvant de l'eau vis-à-vis des composés ioniques comme certains sels, acides et bases (Olivaux, 2007).

1.2. La répartition de l'eau sur la planète

L'eau, est un élément qui existe sous trois formes (liquide à l'état normal, gazeuse en vapeur, solide en glace). Le volume d'eau terrestre sous formes solide, liquide et gazeuse est

estimé à 1 384 120 000 km³. Cependant, la majeure partie (97%) de cette eau se présente sous forme d'eau salée dans les mers et les océans, et elle est difficilement valorisable pour les activités humaines. Des 3% restants (36 × 10⁶ km³), plus des trois-quarts constituent les glaciers très peu accessibles. Le quart restant comprend essentiellement des eaux souterraines (Saggai *et al.*, 2016).

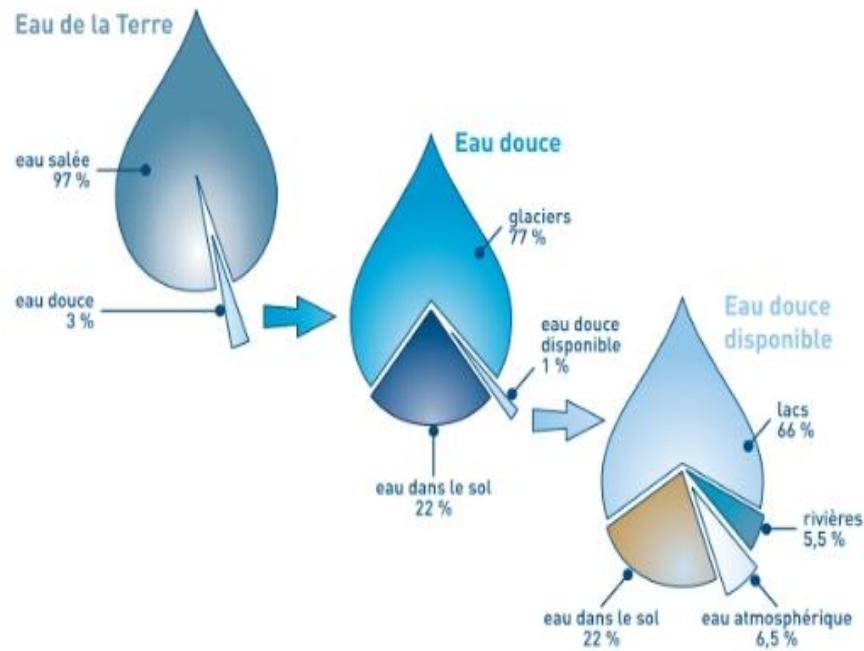


Figure 02. Répartition de l'eau (Bouziani, 2006).

1.3. Le cycle de l'eau

Le cycle de l'eau commence par l'eau qui est en évaporation lente et incessante des fleuves, des lacs et des mers par condensation, se transforme en pluie. Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs, d'où elle est sujette d'une part à l'évaporation, d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent avant d'être rejetées dans l'atmosphère, et en partie s'accumulent dans le sous-sol pour former des nappes souterraines qui, à leur tour, en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue (figue 03) (Hawa, 2002).

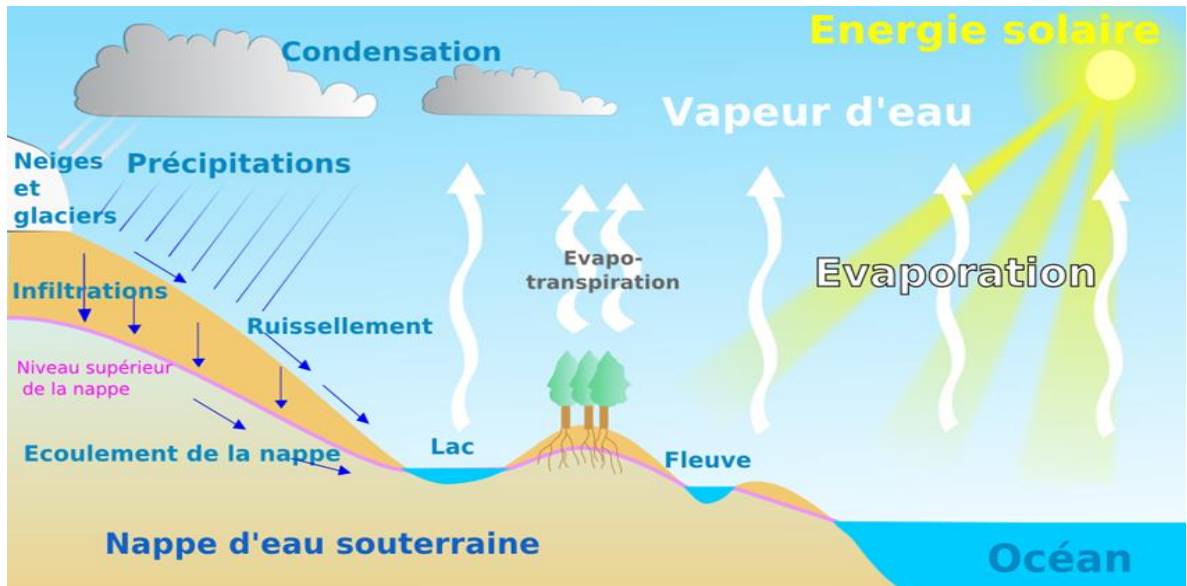


Figure 03. Cycle général de l'eau (Sari, 2014).

1.4. Etats de l'eau : Dans la nature, sous l'action du soleil, de la pression atmosphérique et de la température, l'eau change d'état. On peut la trouver sous trois Formes :

- 1.4.1. État solide :** à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures cristallines régulières (Marsily, 1995) in (Bouakaz et Neffah, 2020).
- 1.4.2. État gazeux :** caractérisé par une absence de forme et de limite physique, il n'y a pas de liaisons entre les molécules, et sont indépendantes les unes des autres (Marsily, 1995) in (Bouakaz et Neffah, 2020).
- 1.4.3. État liquide :** caractérisé par une forme non définie. Les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires (Marsily, 1995) in (Bouakaz et Neffah, 2020).

1.5. Définition de l'eau potable

Une eau potable est une eau propre à l'alimentation, donc dépourvue de tout éléments nocifs. Elle doit être : limpide, incolore, inodore, fraîche. Pourvue d'une faible proportion de sels minéraux (carbonates, sulfates, chlorures...) qui lui donnent une saveur faible mais agréable et une certaine valeur nutritive et dépourvue de matières organiques, dont la présence est un indice de souillure et dépourvue de germes, de vers, de parasites et de microbes pathogènes (Boussahel, 2021).

1.6. Les principaux types de sources d’approvisionnement en eau

1.6.1. Les eaux de surface

Sont des eaux qui circulent ou qui sont stockées à la surface des continents. Elles proviennent soit des nappes souterraines dont l’émergence constitue une source, soit par les eaux de ruissellement (fleuves, rivières, barrages, mares, marigots). Elles sont caractérisées par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. En plus, ces eaux superficielles doivent subir un traitement en plusieurs étapes pour être utilisées pour la boisson et les usages domestiques. Elles ne peuvent être utilisées sans traitement. De plus, pour envisager d’alimenter des populations à partir d’eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l’érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques (Ayad, 2017).

1.6.2. Les eaux souterraines

L’eau souterraine est l’eau stockée dans le sous-sol et les formations sous la surface de celui-ci. Il s’agit de la principale source d’eau potable pour de nombreuses communautés et la source secondaire pour les autres. L’eau souterraine est largement utilisée pour l’alimentation en eau potable et l’irrigation, elle est également une source importante d’eau pour les rivières et les ruisseaux, surtout pendant les longues périodes de sécheresse (Zereg, 2019).

1.6.2.1. L’eau de puits

On peut tenter de définir un puits de captage d’eau comme étant un ouvrage réalisé en dessous de la surface du sol dans le but de permettre l’exhaure des eaux qui peuvent s’y trouver incluses ou y circuler. Généralement le puits à une profondeur moyenne ou faible (inférieur à 100 m) et un diamètre supérieur à 1.20 m. Les puits, jadis creusés à la main, à l’aide de pics, par des puisatiers, notamment dans les roches consolidées (craie, grès, partie superficielle altérée des granites), sont à peu près tombés en désuétude (Ayad, 2017).

1.6.2.2. L’eau de forage

Le forage est l’ouvrage moderne le plus répandu pour l’exploitation des eaux souterraines, mais ce terme correspond aussi à l’ensemble des opérations permettant le creusement de trous généralement verticaux (Touahria, 2013).

Le forage peut être peu profond, comme il peut dépasser les 100 mètres. Son diamètre est généralement plus faible que celui du puits et sa paroi est protégée par un tube de métal ou en matière plastique, et une cimentation entre terrain et tubage dans les premiers mètres (Touahria, 2013). Ces grandes profondeurs nous permettent de minimiser le maximum des risques de pollution et de trouver des débits suffisants (Touahria, 2013).

1.6.3. Les eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Ces eaux sont caractérisées par une grande salinité (allant de 33000 à 37000 mg. l⁻¹), elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres ». Ce qui rend l'utilisation de ces eaux difficile, notamment le coût très élevé du traitement (Ayad, 2017).

1.6.4. Les eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour la consommation humaine. Elles sont très douces par la présence d'oxygène et d'azote et l'absence des sels dissous, comme les sels de magnésium et de calcium. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être souillées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau (Ayad, 2017).

1.7. Paramètres physico-chimiques de l'eau

1.7.1. La température

La température de l'eau est un facteur important dans l'environnement aquatique du fait qu'elle régit la presque totalité des réactions physiques, chimiques et biologiques (Nouayti *et al.*, 2015).

1.7.2. Potentiel d'hydrogène pH

Le pH ou le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H⁺), il est inférieur ou supérieur à 7 suivants que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de signification hygiénique mais il représente une notion importante de la détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous (Abdesselem, 1999).

1.7.3. Conductivité électrique

La conductivité est liée à la présence d'ions en solution. Elle dépend de la nature des ions dissous et leurs concentrations. La température et la viscosité influent également sur la conductivité car la mobilité des ions augmente avec l'augmentation de la température et diminue avec celle de la viscosité. La conductivité des eaux s'exprime en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$), à 25°C (**Rejsk, 2002**).

1.7.4. La Turbidité

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques, etc.). Il est important de connaître la teneur de la turbidité lorsqu'on envisage de traiter l'eau car elle facilite le développement des germes indicateurs de contamination, réduit l'efficacité des désinfectants et accroît la consommation de chlore tout en diminuant son efficacité (**Rodier et al., 2009**).

1.7.5. La salinité

La salinité explique la chlorosité de l'eau qui est le pourcentage de chlorure dans l'eau. Les chlorures existent dans toutes les eaux à des concentrations très variables (**Ziani, 2017**).

1.7.6. La teneur en sel dissous (TDS)

La quantité de sels minéraux dissous influe sur la conductivité, la mesure permet la détermination de la quantité totale de sels minéraux dissous dans l'eau est appelée TDS (**Rodier, 1996**).

1.7.7. Les résidus secs

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau (**ADE, 2011**).

1.7.8. La matière en suspension (MES)

Représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdales, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau (**Zeghoud, 2014**).

1.7.9. Alcalinité (TA-TAC)

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence de bases et de sels d'acides faibles. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement de la présence d'hydrogénocarbonates, carbonates et hydroxydes (**Rodier et al., 2009**).

On distingue comme pour la mesure de l'acidité, deux titres qui sont le titre alcalimétrique ou titre alcalimétrique simple (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) (**Rodier et al., 2009**).

1.7.10. Chlorures

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution (**Nouayti et al., 2015**).

1.7.11. Les Nitrates

Les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote organique, leur présence dans une eau polluée atteste que le processus d'autoépuration est déjà entamé. L'activité humaine accélère le processus d'enrichissement en cet élément dans les sols subissant l'érosion, ce qui provoque l'infiltration des eaux usées, par les rejets des industries minérales et d'engrais azoté (**Nouayti et al., 2015**).

1.7.12. Les nitrites

Les nitrites proviennent d'une oxydation incomplète des matières organiques. La présence des nitrites dans l'eau en quantité importante dégrade la qualité de l'eau et pourrait affecter la santé humaine (**Belghiti et al., 2013**).

1.7.13. Dureté totale

La dureté totale d'une eau est produite par les sels de calcium et de magnésium qu'elle contient. On distingue : une dureté carbonatée qui correspond à la teneur en carbonates et bicarbonates de Ca et Mg et une dureté non carbonatée produite par les autres sels (**Belghiti et al., 2013**).

1.7.14. Sulfates

Les sulfates sont des anions très solubles, présents dans les eaux sous forme de soufre dissous. Les eaux sulfatées peuvent avoir un goût désagréable (**Maoudo et al., 2020**).

1.7.15. Matières organiques

Le terme matière organique naturelle est employé pour définir toute matière composée du carbone qui est associé avec d'autres atomes comme l'hydrogène, l'azote etc... La matière organique des eaux superficielles englobe les cellules vivantes ou mortes, animales ou végétales et toutes les molécules résultant de la décomposition de ces cellules (**Berrahal, 2019**).

1.8. Paramètres bactériologiques de l'eau

1.8.1. Les Germes totaux

La numération des germes aérobies mésophiles ou germes totaux, vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable. Elle permet ainsi une appréciation globale de la salubrité générale d'une eau, sans toutefois déterminer les sources de contamination. D'une manière générale, ce dénombrement est utilisé comme indicateur de pollution et également comme indicateur d'efficacité de traitement, en particulier des traitements physiques comme la filtration par le sol, qui devrait entraîner soit une très forte diminution de la concentration bactérienne, soit même une absence de bactéries (**Ayad, 2017**).

1.8.2. Les Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau car ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale. Les coliformes totaux sont définis comme étant des bactéries en forme de bâtonnet, aérobies ou anaérobies facultatives, possédant l'enzyme β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35 C° afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié. Ce groupe est composé des principaux genres suivants : *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Escherichia*, *Klebsiella* et *Serratia*. La plupart des espèces sont non pathogènes et ne représentent pas de risque direct pour la santé, à l'exception de certaines souches d'*Escherichia coli* (E. coli) ainsi que de rares bactéries pathogènes opportunistes (**Ayad, 2017**).

1.8.3. Les Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux, ou coliformes thermotolérants, sont un sous-groupe des coliformes totaux, ils ont la capacité de fermenter le lactose à une température de 44,5 C°. L'espèce la plus habituellement associée à ce groupe bactérien est l'*Escherichia coli* (*E. coli*). *E. coli* est la seule bactérie indicatrice qui représente sans équivoque une contamination d'origine fécale animale ou humaine. Sa détection dans une eau doit être considérée comme reflétant la présence possible des germes pathogènes d'origine entérique (**Ayad, 2017**).

1.9. 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**).

1.9.1. La classification de la pollution selon le polluant

1.9.1.1. Pollution physique

Elle résulte de différents éléments solides entraînés par les rejets domestiques et industriels. On distingue (**Benkaddour, 2019**) :

1.9.1.1.1. Pollution solide

Elle provient des particules solides apportées par les eaux industrielles ainsi que les eaux de ruissellement et issue des décharges de déchets à ciel ouvert (**Benkaddour, 2019**).

1.9.1.1.2. Pollution thermique

Causée généralement par les eaux des circuits de refroidissement des usines, en effet tout changement de température de l'eau a des conséquences significatives sur l'équilibre écologique du milieu aquatique naturel et la survie des organismes vivants (**Benkaddour, 2019**).

1.9.1.1.3. Pollution radioactive

Liée aux rejets des éléments radioactifs par les installations et les centrales nucléaires ainsi que les usines de traitement de déchets radioactifs (**Benkaddour, 2019**).

1.9.1.2.Pollution chimique

Elle est due aux polluants chimiques de nature organique et minérale générés par les différentes activités anthropiques. Ce type de pollution regroupe les solvants, les métaux (Zn, Pb, Cd,.....), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les polychlorobiphényles (PCB), les produits pharmaceutiques, les pesticides, les sels, etc... (**Benkaddeur, 2019**).

1.9.1.3.Pollution microbiologique

Elle provient de plusieurs sources comme les rejets des hôpitaux, l'agriculture ainsi que les rejets d'eaux usées. L'eau se charge alors de microorganismes pathogènes (bactéries, virus, parasites) qui peuvent être dangereux pour l'environnement et pour la santé humaine (**Benkaddeur, 2019**).

1.10. Les maladies à transmission hydrique

Les eaux douces sont capables de véhiculer des agents pathogènes et des parasites stricts de l'homme et des animaux. Ils peuvent être introduits occasionnellement dans l'eau et parfois disséminés loin par l'eau. Mais elles ne se développent pas dans l'eau. L'eau peut véhiculer des toxines comme la toxine botulinique de type D lorsqu'elle est contaminée par un cadavre. Certaines bactéries contaminent et vivent à l'état naturel dans l'eau. Elles s'y multiplient et y demeurent très longtemps surtout lorsqu'elles sont sporulées (**Nathalie, 2005**).

Les maladies à transmission hydrique sont le plus souvent transmises par voie fécale orale et la contamination de l'homme se réalise alors soit par consommation d'aliments contaminés par l'eau, soit lors d'un bain ou d'un contact avec des eaux à usage récréatif. Ces maladies sont généralement liées à la présence de bactéries strictement pathogènes ou opportunistes. Des protozoaires, des parasites et des virus sont également impliqués. Il faut signaler aussi que des intoxications peuvent être liées à la présence d'algues eucaryotes ou de cyanobactéries (**Debabza, 2001**).

Les êtres humains et les animaux peuvent être les hôtes des bactéries, des virus et des protozoaires qui causent ces maladies. Des millions de gens n'ont guère accès, pour leur hygiène personnelle, à une évacuation contrôlée des eaux usées ou à une eau salubre. On estime que 3 milliards d'êtres humains, par exemple, n'ont pas de toilette sanitaire. Plus de 1,2 milliard de personnes courent des risques parce qu'ils n'ont pas accès à de l'eau salubre. On estime qu'il y a chaque année 4 milliards de cas de maladies diarrhéiques qui causent entre 3 et 4 millions de morts, surtout parmi les enfants (**Abdessamad, 2005**). Le tableau 1 ci-dessous représente les maladies provoquées par les micro-organismes contaminants l'eau.

Tableau.01. Maladies provoquées par les micro-organismes contaminants l'eau (**Rodier et al., 2009**).

Maladies	Agents pathogènes
<ul style="list-style-type: none"> ▪ D'origine bactérienne : - La Typhoïde et la paratyphoïde - La dysenterie bacillaire - Le choléra ▪ La Gastro-entérite aiguë et la diarrhée 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Salmonelle typhique ; Salmonelle paratyphique A et B ; Shigella sp ; ▪ Vibrio cholerae ; Escherichia coli ; Entérotoxique ; Campylobacter ; Yersiniaenterocolitica ; Salmonelle ; Shigella sp
<ul style="list-style-type: none"> ▪ D'origine virale : - L'hépatite A et E - La polio ; La Gastroentérite aiguë et chronique 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Virus de l'hépatite A et E ▪ Virus de la poliomyélite ; Virus Norwalk Rotavirus ; Entérovirus ; Adénovirus
<ul style="list-style-type: none"> ▪ D'origine parasitaire : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dysenterie amibienne parasite gastro- entérite 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gastro-entérite ; Entamoeba histolytica ; Giardia l'ablai ; Cryptospridium

Présentation des Sites

PRESENTATION DES SITES

1. Présentation des Sites

Des échantillons d'eau ont été prélevés de diverses sources pour les utiliser dans le contrôle de la qualité. Dans cette section on présente les sites de prélèvement d'eau.

1.1. Forage de la ferme Michaux

Un échantillon d'eau a été prélevé d'un forage (figure 04) localisé au niveau de la ferme Michaux, situé dans la Daïra de Ras el oued, wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les informations ci-dessous sur la ferme et son forage sont issues de l'agriculteur et le propriétaire de la ferme Mr. Djeddi Fouad.

- Localisation de la ferme Michaux : daïra ras el oued, wilaya de Bordj Bou Arreridj,
- Activité principale dans la ferme : terre agricole et utilisation de pesticides, d'herbicides et d'engrais.
- Sources d'eau : forage.
- Les principales utilisations du forage : Eau potable destinée à la consommation humaine, destinée à l'irrigation agricole.
- Qualité des roches souterraines : phosphatée et calcaire.
- Profondeur du forage : 110 m.
- Année de construction du forage : 2000.



Figure 04. Forage de la ferme Michaux.

1.2. Forage et puits de la ferme Bergé

Deux échantillons d'eau ont été prélevés d'un forage et d'un puits (figure 05 et 06) localisé au niveau de la ferme Bergé, situé dans la Daïra de Ras El Oued, wilaya de Bordj Bou Arreridj. Les informations ci-dessous sur la ferme et ses sources d'eau sont issues de l'agriculteur et le propriétaire de la ferme Mr. Djeddi Fouad.

- Localisation de la ferme Bergé : Daïra Ras El Oued, wilaya de Bordj Bou Arreridj.
- Activité principale de la ferme : terres agricoles, sans utilisation des pesticides, d'herbicides et d'engrais.
- Sources d'eau : forage et puits
- Les principales utilisations du forage et puits : Eau potable destinée à la consommation humaine et à l'irrigation agricole.
- Qualité des roches souterraines : calcaire.
- Profondeur du forage : 150 m.
- Année de construction du forage : 2009.
- Profondeur du puits : 10 m.
- Année de construction du puits : 1950.



Figure 05. Forage de la ferme Bergé.



Figure 06. Puits de la ferme Bergé.

1.3. Eau du robinet

Un échantillon d'eau a été prélevés d'un robinet (figure 07) localisé au niveau d'un des laboratoires de la faculté SNV, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi situé dans la commune El Anasser, Wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Selon l'algérienne des eau (ADE) Unité de Bordj Bou Arreridj la principale source d'eau distribué à l'Université est le barrage d'*Aïn Zada*, d'où l'eau est transférée vers les réservoirs spéciaux de l'ADE, puis vers les réservoirs de l'Université.



Figure 07. L'eau de robinet du laboratoire.

***Matériels et
Méthodes***

MATERIELS ET METHODES

1. Prélèvement des échantillons d'eau

Des échantillons d'eau issues d'un robinet de laboratoire, d'un puits et de deux forages ont été utilisés dans ce travail afin de tester leur qualité. L'eau du robinet a été laissé couler pendant quelques minutes avant de prendre l'échantillon d'eau pour garantir que l'eau stagnante dans les canalisations est éliminée. Tous les échantillons décrit dans ce travail ont été prélevés dans des flacons en verre et conservés au froid (4°C).

2. Control qualité de l'eau

2.1. Les paramètres physico-chimiques

Pour contrôler la qualité des échantillons d'eau plusieurs paramètres physico-chimique ont été testés au laboratoire. En premier lieu, les échantillons d'eau ont été contrôlés à l'œil nu. En cas de forte présence de trouble de couleurs dans l'eau les échantillons étaient initialement filtrés avant l'expérience. Toutes les expériences réalisées sont décrites ci-dessous :

2.1.1. La température, la conductivité électrique, la salinité et les sels dissous (TDS)

La température, la conductivité électrique la salinité et les sels dissous des échantillons d'eau ont été mesurés en utilisant un conductimètre. Pour cela, un petit bécher a été remplis (trois quart) avec l'eau à analyser, puis l'électrode du conductimètre (après l'avoir rincé avec de l'eau distillée) a été plongé au sein du bécher sans néanmoins toucher le fond né les côtés du bécher. Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au mois l'écart type et sont exprimés en degrés Celsius (°C) pour la température ; en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour la conductivité électrique ; en pourcentage pour la salinité ; et en mg/l pour les sels dissous (TDS) (Rodier *et al.*, 2009).

2.1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH des échantillons a été évalué à l'aide d'un pH-mètre qui a été préalablement rincé avec de l'eau distillée et étalonné à l'aide des solutions tampons correspondante à l'appareil. Pour les échantillons ; un petit bécher a été remplis (trois quart) avec une quantité d'eau, puis l'électrode du pH-mètre a été soigneusement plongé au sein du bécher sans néanmoins

toucher le fond né les côtés du bécher. A chaque détermination du pH, l'électrode est retirée, rincé à l'eau distillée et séché avant la détermination qui en suit. La valeur attendue est indiquée sur le pH-mètre après l'avoir laissé maintenir la mesure pendant un certain temps, généralement quelques secondes, jusqu'à ce que les valeurs se stabilisent. Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au mois l'écart type (**Rodier et al., 2009**).

2.1.3. La turbidité

Un turbidimètre a été utilisé pour mesurer la turbidité. Pour cela la cuvette de l'appareil (propre et sèche) était remplie avec 10 ml de l'échantillon d'eau. Après avoir fermé la cuvette elle a été placée dans le logement de l'instrument. Les valeurs attendues sont affichées sur le turbidimètre. Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au mois l'écart type et sont exprimés en NTU (**Rodier et al., 2009**).

2.1.4. Les résidus secs (RS)

Pour l'évaluation des résidus secs en procédant à l'expérience comme suit : 100 ml de chaque échantillon d'eau à analyser a été versé dans un bécher à condition que le poids du bécher vide est déjà noté. Le tout était laissés dans l'étuve à 180°C pendant 24 heures. Après refroidissement les béchers étaient de nouveau pesés immédiatement et rapidement (**ADE, 2011**). Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au mois l'écart type. Les valeurs des résidus secs sont calculées comme suit :

$$RS = (M_1 - M_0) * V_r / V_e$$

Où :

R_s : Résidu sec en mg/l.

M_1 : Poids, en milligramme du bécher et de son contenu après étuvage à 180°C.

M_0 : Poids, en milligramme du bécher vide avant étuvage.

V_e : Volume, en millilitre de la prise d'essai (100ml).

V_r : Volume, d'eau de référence 1000ml (l).

2.1.5. La matière en suspension (MES)

La détermination des matières en suspension a été réalisée par la méthode de **Rodier et al., 2009**, avec quelques modifications. Des papiers filtres étaient coupés à la taille de la rampe à filtration (un filtre correspond à chaque échantillon d'eau), puis ils ont été bien séchés à l'étuve (105°C) et pesés. Les filtres étaient ensuite placés dans la rampe à filtration qui est munie d'entonnoirs magnétiques. Ensuite 150 ml d'échantillon d'eau a été versé sur le filtre. Une fois la filtration est terminée, les papiers filtres (sous forme de disque) sont prélevés et entreposés dans l'étuve (105°C) pour séchage pendant 20 min. Après refroidissement les filtres sont à nouveau pesés. La masse de la matière en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du filtre incluant les résidus séchés et la masse initiale du filtre tout en tenant compte du volume filtré comme le montre le calcul suivant :

$$\text{MES} = (\text{P}_f - \text{P}_i) * \text{V}_r / \text{V}_e$$

Où:

MES = Matière en suspension en mg/l.

P_f = Poids final du filtre.

P_i = Poids initial du filtre.

V_r = Volume d'eau de référence = 1000 ml.

V_e = Volume d'eau utilisée dans l'expérience = 150 ml.

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au moins l'écart type et sont exprimés en mg/l.

2.1.6. L'alcalinité

2.1.6.1. Le titre Alcalimétrique simple (TA)

Pour la détermination du TA la méthode consiste à prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole, ensuite ajouter 1 à 2 gouttes de phénol phtaléine (0.5%) jusqu'au virement de la couleur rose (dans le cas d'absence de la couleur rose le TA est nul, il ne sera pas utile de continuer le test). Après le virage de la couleur rose verser doucement l'acide chlorhydrique ou sulfurique (0,02 N) dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment, et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (**Rodier et al., 2009**).

Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au mois l'écart type. La valeur du TA est exprimé de la manière démontrée dans le tableau suivant (Rodier *et al.*, 2009) :

Tableau 02. L'expression de la valeur du TA.

TA	Unité
$TA = V \text{ (ml)} / 5$	mEq/l
$TA = V$	°f (degré français)

V: Volume d'acide chlorhydrique ou sulfurique (0,02 N) utilisé pour obtenir le virage, TA: Le titre alcalimétrique simple, mEq : milliéquivalent.

2.1.6.2. Le titre alcalimétrique complet TAC

Le TAC a été évalué en utilisant le même échantillon traité précédemment pour le TA (ou l'échantillon primitif s'il n'y a pas eu de coloration). Donc, à cet échantillon il faut ajouter 2 gouttes de la solution de vert de bromocrésol et de rouge de méthyle et titrer avec l'acide chlorhydrique ou sulfurique (0,02 N) jusqu'à disparition de la coloration bleu verdâtre et apparition de la couleur rose. Le dosage doit être effectué rapidement pour réduire les pertes de CO₂ qui pourraient entraîner une élévation du pH de virage. Les résultats sont la moyenne de trois répétitions (Rodier *et al.*, 2009). La valeur du TAC est exprimée de la manière démontrée dans le tableau suivant (Rodier *et al.*, 2009) :

Tableau 03. L'expression de la valeur du TAC

TAC	Unité
$TAC = V' \text{ (ml)} / 5$	mEq/l
$TAC = V'$	°f (degré français)

TAC : Titre alcalimétrique complet (TAC), **V'** : Volume de l'acide chlorhydrique ou sulfurique (0,02 N) versé depuis le début du dosage, TAC : Le titre alcalimétrique compiet, mEq : milliéquivalent.

2.1.7. Dosage des chlorures

La méthode de Mohr a été utilisée pour le dosage des chlorures. Ainsi, Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml, puis ajouter 2 à 3 gouttes d'acide nitrique pur. Ensuite, ajouter une pincée de carbonate de chaux et 3 gouttes de solution de chromate de potassium (10%). En utilisant une burette verser délicatement la solution de nitrate d'argent (0.1N) jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre, qui doit persister 1 à 3 minutes (**Rodier et al., 2009**). Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au moins l'écart type et sont exprimés de deux manières (teneurs en Cl^- et teneurs en NaCl) selon les calculs suivants :

$$\text{Teneur en Cl}^- = V_{\text{AgNO}_3} * N_{\text{AgNO}_3} * 1000 * M_c / V'$$

Où :

Teneur en Cl^- : exprimée en mg/l

V_{AgNO_3} : le nombre de millilitres de nitrate d'argent utilisés.

N_{AgNO_3} : La normalité dans ce cas est de 0.1.

M_c : Masse atomique du chlore (35.5).

V' : La prise d'essai de l'échantillon dans ce cas elle est de 100 ml.

$$\text{Teneur en NaCl} = V_{\text{AgNO}_3} * N_{\text{AgNO}_3} * 1000 * M_{\text{NaCl}} / V'$$

Où :

Teneur en NaCl : exprimée en mg/l

V_{AgNO_3} : le nombre de millilitres de nitrate d'argent utilisés.

N_{AgNO_3} : La normalité du nitrate d'argent dans ce cas est de 0.1.

M_c : Masse atomique du NaCl (58.5).

V' : La prise d'essai de l'échantillon dans ce cas elle est de 100ml.

2.1.8. Dosage des nitrates

Les concentrations des nitrates dans les échantillons d'eau ont été estimées par méthode spectrophotométrique (**Rodier et al., 2009**). La technique nécessite la réalisation d'une courbe d'étalonnage en utilisant l'azote nitrique avec des concentrations différentes (5 mg/l ;

2.5mg/l ; 1mg/l ; 0.5mg/l) et à partir d'une solution mère de 0.1g/l diluée dans l'eau distillée. Le témoin utilisé dans cette expérience est l'eau distillée.

Pour l'expérience dans des béchers ajouter 1 ml de la solution de salicylate de sodium (0.5%) à 10 ml de chaque concentration d'azote nitrique (pour la courbe d'étalonnage) ; au témoin et a 10 ml de l'échantillon d'eau a analysé (pour d'autre expérience et en cas des teneurs et azote nitrique supérieures à 10mg/l, opérer une dilution et Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium dans notre cas cette partie du protocole n'a pas été prise en considération), puis évaporer les mélanges à sec au bain-marie (par nécessité on a utilisé la plaque chauffante ou une étuve portée à 75-80°C sans surchauffer, ni chauffer trop longtemps). Laisser refroidir et reprendre le résidu par 2 ml d'acide sulfurique concentré ($d=1.84$) en ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10 minutes, ajouter 15 ml d'eau bidistillée puis 15 ml de la solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 415 nm. Soustraire des densités optiques lues pour les échantillons, la valeur relevée pour le témoin et construire la courbe d'étalonnage à partir de la moyenne de trois répétitions de chaque concentration d'acide nitrique. Se reporter à la courbe d'étalonnage et son équation pour obtenir les valeurs des concentrations des nitrates dans les échantillons d'eau à analyser. Pour une prise d'essai de 10ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique exprimée en milligrammes par litre d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate (NO_3), multiplier ce résultat par 4.43.

2.1.9. Dosage des nitrites

Les concentrations des nitrites dans les échantillons d'eau ont été estimées par la méthode colorimétrique et spectrophotométrique au réactif de Zambelli (**Rodier et al., 2009**). Cette technique nécessite la réalisation d'une courbe d'étalonnage en utilisant le NO_2 avec des concentrations différentes (1.15 mg/l ; 0.92mg/l ; 0.69mg/l ; 0.46mg/l) préparées à partir d'une solution mère (0.23g/l) et une solution fille (0.0023g/l). L'eau distillée a été utilisé comme témoin.

Pour la préparation du réactif de Zambelli ; dans un bécher de 250ml introduire 31.25ml d'eau distillée et 20.8ml d'HCL ($d=1.19$), puis dissoudre dans le mélange l'acide sulfanilique (0.4g) et le phénol cristallisé (0.6g) en chauffant légèrement au bain-marie (par nécessité on a utilisé la plaque chauffante au lieu du bain-marie avec agitation) jusqu'à dissolution

complète, ensuite ajouter le chlorure d'ammonium (10.8g) et agiter jusqu'à dissolution. Après refroidissement ajuster jusqu'à 50ml avec l'eau distillée.

Pour l'expérience dans une série de tubes à essai introduire successivement 10 ml de NO_2 avec des concentrations différentes, du témoin ou de l'échantillon d'eau à analyser (l'expérience devra être de préférence avec 50ml selon Rodier, 2005), ajouter 2 ml du réactif de Zambelli agiter et attendre 10 minutes, puis ajouter 2 ml de l'ammoniaque pure, ensuite effectuer la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 435nm. La courbe d'étalonnage donne la teneur en NO_2^- , exprimée en mg/l d'eau. Se reporter à cette courbe et son équation pour obtenir les valeurs des concentrations des nitrites dans les échantillons d'eau à analyser (Rodier, 2005). Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au moins l'écart type.

2.1.10. Dureté totale

La dureté totale des échantillons d'eau a été évaluée par titrage complexométrique à l'EDTA. Pour cela une solution de noir d'eriochrome T a été préparée dans l'alcool éthylique absolu à 0.4% et elle a été conservée à l'abri de la lumière (couverte avec du papier aluminium). En plus, une solution tampon (pH = 9.5-10) et une solution d'EDTA (0.02N) ont été aussi préparées. Pour l'essai, prélever 50ml d'eau à analyser dans un bécher de 100ml, chauffer l'échantillon à une température d'environ 60°C, puis ajouter 4ml de la solution tampon et 2 à 3 gouttes d'indicateur colore (solution de noir d'eriochrome T préalablement préparée), puis en utilisant une burette ajouter la solution d'EDTA jusqu'à au virage du rouge vineux au bleu vert. Vérifier qu'une goutte d'EDTA ne produit plus de tache bleu-vert (Rodier *et al.*, 2009). Soit V le volume de solution d'EDTA, donc, pour une prise d'essai de 100ml la dureté totale, exprimée en degrés français sera égale à V, alors que dans notre cas une prise d'essai de 50ml (sans aucune dilution avec l'eau distillée) la dureté totale sera égale à 2V et elle est exprimée en degrés français.

2.1.11. Détermination des Sulfates (SO_4^{2-})

La détermination des sulfates dans les échantillons d'eau a été réalisé par spectrophotomètre UV- Visible (Rodier, 2005). La technique nécessite la réalisation d'une courbe d'étalonnage en utilisant le Na_2SO_4 . Ainsi, une solution mère de sulfates (1 g/l) a été préparé à partir de Na_2SO_4 . Cette solution a été utilisée pour préparer des concentrations différentes de Na_2SO_4

étant de (10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l, 40 mg/l, 50 mg/l, 60 mg/l, 70 mg/l). D'autre part, une solution stabilisante et une solution de chlorure de baryum ont été aussi préparées.

Les béchers de 250 ml ont été utilisés durant l'expérience ils ont subi un entretien au préalable : les laver très bien avec du savon et une lavette, ensuite rincer abondamment avec l'eau du robinet puis, avec une solution acide chlorhydrique (petite quantité de HCl diluée l'eau distillée), ensuite rincer avec l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée. Selon **Rodier, 2005**, les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés sur filtre de 0,45 µm et Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l SO_4^{2-} doivent être dilués avant détermination.

Un bécher a été utilisé pour le témoin (eau distillée) et les autres ont été utilisés pour les échantillons de Na_2SO_4 (pour réaliser la courbe d'étalonnage) et les échantillons d'eau a analysé. 100 ml est le volume utilisé comme prise d'essai dans les béchers, sauf que dans le cas d'échantillon d'eau à analyser la prise d'essai 100ml comprend 20ml de l'échantillon d'eau à analyser et 80ml d'eau distillée c'est-à-dire que l'échantillon a été dilué cinq fois (pour éviter toute trouble de lecture). La valeur lue sur le spectrophotomètre va être multiplier par le facteur de la dilution cinq pour porter le résultat à une prise d'essai de 100ml.

Pour le test ajouter à 100 ml de différente concentration du Na_2SO_4 , du témoin ou des échantillons d'eau a analysé 5ml de la solution stabilisante et 2 ml de chlorure de baryum agiter pendant 1mn, chaque échantillon doit être lue au spectrophotomètre directement après agitation pour éviter la précipitation qui s'effectue rapidement dans ce test. Lire L'absorbance à 420 nm. Dans le cas des échantillons d'eau à analyser. La valeur lue sur le spectrophotomètre a été multipliée par le facteur de la dilution cinq. Se reporter à la courbe d'étalonnage et son équation pour obtenir les valeurs des concentrations des sulfate exprimé en mg/l dans les échantillons d'eau. Les résultats sont la moyenne de trois répétitions plus au moins l'écart type.

2.1.12. Matière organique

La matière organique a été testée comme suit : Prélever 100 ml d'eau à analyser, puis ajouter 5 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) qui est dilué (5 ml H_2SO_4 + 95ml eau distillée) et porté à ébullition pendant 1 min. Ensuite, ajouter 15 ml de permanganate de potassium (KMnO_4) à 0.01N, et laissé le mélange 10 min sous la plaque chauffante pour une ébullition régulière et douce (avec apparition d'une couleur rose foncé allant vers la couleur mauve). Ensuite, ajouter 15 ml d'acide oxalique à 0.01N (avec disparition de la couleur), puis titrer à chaud

avec KMnO_4 , à 0.01 jusqu'à l'obtention d'une coloration rose clair persistante. La concentration en matière organique en mg/l est donnée par la formule suivante :

$$\text{MO (mg/l)} = V_{\text{KMnO}_4} \text{ (ml)}.$$

V_{KMnO_4} (ml) : le volume de permanganate de potassium nécessaire pour le titrage de la matière organique (Derradji et Mechehoud, 2021).

2.2. Les Paramètres Bactériologiques

Les analyses bactériologiques sont importantes car la qualité bactériologique d'une eau représente la cause la plus fréquente de la non potabilité de l'eau. Avant de commencer les tests bactériologiques une préparation du matériel et nécessaire.

2.2.1. Stérilisation du matériel

Tout le matériel utilisé dans les test bactériologiques (les flacons, les béchers, les embouts...etc) ont été stérilisés en utilisant un autoclave (même les milieux de culture après préparation ils ont été stériliser. Le but de la stérilisation est d'une part de maîtriser les micro-organismes introduits dans le milieu d'étude, et d'autre part d'éviter la contamination du milieu extérieur et des personnes.

2.2.2. Préparation des milieux de culture

Les micro-organismes exigent pour leur croissance des aliments. Ces aliments leur sont fournis au laboratoire par des milieux nutritifs ou milieux de culture. Les milieux de culture préparés et utilisés dans ce travail sont la gélose ou 'plate count agar' abrégé (PCA) pour le test des germes totaux et le Gélose glucose biliaire rouge violet ou 'Violet Red Bile Glucose' (VGRB) pour le test des coliformes totaux et fécaux.

2.2.2.1. Préparation de la gélose

La méthode de préparation de la gélose est indiquée sur la boîte du milieu de culture lui-même. Ainsi mettre 300ml de l'eau distillée dans un bécher et sur la plaque chauffante ; au moment de l'ébullition de l'eau ajouter progressivement 07.05g de la gélose, couvrir le bécher avec du papier aluminium et laisser le tout sous la chaleurs et l'agitation continue jusqu'à la dissolution complète de la gélose, ensuite laisser refroidir et mettre le milieu dans des flacons, puis les stériliser dans un autoclave à 121 °C pour 15 minutes. Conserver le milieu de culture à température ambiante et à l'abri de la lumière. Au moment de son

utilisation il faut le mettre sur bain maré à température entre 65-70°C pour le liquéfier avant de l'utiliser.

2.2.2.2. Préparation du Gélose glucose biliaire rouge violet (VBRG)

Pour la préparation du VBRG mettre 500ml de l'eau distillée dans un bécher et sur la plaque chauffante ; au moment de l'ébullition de l'eau ajouter progressivement 20.25g du VBRG, couvrir le bécher avec du papier aluminium et laisser le tout sous la chaleur et l'agitation continue jusqu'à la dissolution complète du VBRG, ensuite laisser refroidir et mettre le milieu dans des flacons, puis les stériliser dans un autoclave à 121°C pour 15 minutes. Conserver le milieu de culture à température ambiante et à l'abri de la lumière. Au moment de son utilisation il faut le mettre sur bain maré à température entre 65-70°C pour le liquéfier avant de l'utiliser.

2.2.3. Préparation de l'eau physiologique

L'eau physiologique est préparée pour être utilisée ultérieurement dans les préparations des différentes dilutions de échantillons d'eau à tester. Pour cela 0.9 g du NaCl a été solubilisée dans 100 ml d'eau distillée (9g/l). L'utilisation de l'eau physiologique est dû au fait qu'elle est importante à la survie des bactéries dans les échantillons d'eau à tester.

2.2.4. Technique de dilution en série

La dilution en série est largement utilisée en microbiologie pour déterminer la concentration des microorganismes dans un échantillon. Dans le domaine des tests de qualité de l'eau, Les dilutions en série d'échantillons d'eau sont importantes pour estimer le nombre de bactéries présentes.

Dans notre cas si la solution mère donne un nombre de colonie égale ou inférieur à 300 le dénombrement s'exécutera directement en utilisant les résultats issus avec la solution mère sans procéder aux dilutions. Par contre si la solution mère nous donne un nombre de colonie supérieurs 300 (tapis microbien) la dilution sera obligatoire pour réduire la concentration des bactéries dans l'échantillon se qui permettra d'avoir un nombre de colonie inférieurs à 300 et le dénombrement sera possible. Toutefois, les analyses sont plus adéquates et précises avec les répétitions et les différentes (**Rejesk, 2002**).

La technique de dilution en série est utilisée pour diluer les échantillons d'eau à analyser. Les dilutions en série sont préparées en zone stérile comme suit (voir figure 08) :

- **La solution mère** : L'eau à analyser dans ce cas représente notre solution mère
- **Première dilution** : A l'aide d'une pipette stérile, transférez un volume de 1 ml de l'échantillon d'eau dans un tube stérile et le mélangez avec 9 ml de l'eau physiologique préalablement préparé pour obtenir une dilution 1:10 (le facteur de dilution (Fd) dans ce cas est égale au volume final (10 ml) divisé par le volume initial 1 ml ce qui donne un facteur de dilution de 10). Cette dilution est notre première dilution. Après avoir transféré l'échantillon, mélanger soigneusement le contenu du tube. Cela peut être fait en faisant tourner doucement le tube ou en utilisant une pipette pour aspirer et distribuer le liquide plusieurs fois. Assurer un mélange correct est essentiel pour obtenir une dilution homogène et des résultats précis.
- **Deuxième dilution** : Utiliser des embouts de pipettes séparés pour chaque dilution afin d'éviter toute contamination croisée. Prélevez 1 ml de la première dilution et ajoutez-le à 9 ml de l'eau physiologique. Cette dilution est notre deuxième dilution.
- **Troisième dilution** : Répétez les étapes de transfert et de mélange pour ce tube, ainsi prélevez 1 ml de la deuxième dilution et ajoutez-le à 9 ml de l'eau physiologique. Cette dilution est notre troisième dilution (**Rejesk, 2002**).

Une fois la dilution en série est terminée, les dilutions obtenues peuvent être utilisées pour les techniques de dénombrement des bactéries.

2.2.5. Techniques de dénombrement en milieu solide

2.2.5.1. Principe

Une prise d'essai de l'échantillon d'eau est mélangée ou étalée à la surface d'un milieu de culture solide spécifique de sorte, qu'après incubation, des microorganismes forment des colonies dans ou sur le milieu (**Rejesk, 2002**).

2.2.5.1. Dénombrement de la flore mésophile aérobie total (FMAT) par incorporation en gélose

Le dénombrement des FMAT s'effectue par incorporation d'un faible volume d'échantillon en milieu solide nutritif (gélose). Pour cela il faut préparer une zone stérile en plaçant autour du bec bunsen le matériel nécessaire : boîtes de pétri, pipettes stériles, gélose, les tubes contenant la solution mère de l'échantillon et les différentes dilutions.

Procéder à l'expérience comme suit : En utilisant la micropipette verser goutte à gouttes 1 ml de la solution mère et de chaque dilution d'eau à analyser dans des endroits différents de la boîte Pétri, (répartir la solution au fond de la boîte par gouttes). Les boîtes sont vides et préparées à cet usage et numérotées. Ensuite ajouter et compléter chacune des boîtes avec 15 ml de la gélose, fermer la boîte et avec la main provoquer des mouvement rotatoire (forme 8) pour que les solutions se mélangent. Après laisser solidifier un peu en zone stérile et couvrir avec le para filme. Incuber les boîtes dans l'étuve à 37°C pendant 48 h, sans oublier que le couvercle doit être déposé vers le bas pour que la condensation d'eau s'accumule dans le couvercle. Après 48h calculer le nombre de colonies formées à l'aide d'un compteur de colonie bactérienne et le comptage se fait de façon manuelle en utilisant un stylo (**Rejesk, 2002**). Les résultats sont exprimés par la formule (**Kasse et al., 2014**) :

$$\text{UFC} = [\text{nombre des colonies} / \text{volume d'échantillon d'eau (n}_1+0.1n_2)] \times (1/ \text{le facteur de dilution})$$

Les résultats sont exprimés en UFC/ml (unité formant colonie par millilitre d'échantillon).

n₁ : Nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue

n₂ : Nombre de boîtes considérées à la seconde dilution retenue

Dans notre cas nous avons utilisés dans l'expérience seulement les boîtes de pétri contenant la solution mère (sans aucune dilution) la formule appliquée était réduite à (**Kasse et al., 2014**) :

$$\text{UFC} = [\text{nombre des colonies} / \text{volume d'échantillon d'eau}] \times (1/ \text{le facteur de dilution})$$

Pour le nombre de colonie :

- Si le nombre est inférieur à 15 colonies par boîte, conclure un résultat négatif,
- Si le nombre des colonies est entre 15 et 300 colonies on applique la formule déjà mentionnée,

- Si le nombre des colonies est supérieur à 300 colonies le résultat final est exprimé en plus de 300 microorganismes considérés (**Rejesk, 2002**).

2.2.5.2. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et fécaux par incorporation en VBRG

Le dénombrement des coliformes totaux et fécaux s'effectue par incorporation d'un faible volume d'échantillon en milieu solide nutritif (VBRG). Pour cela il faut préparer une zone stérile en plaçant autour du bec bunsen le matériel nécessaire : boîtes de pétri, pipettes stériles, gélose, les tubes contenant la solution mère de l'échantillon et les différentes dilutions.

Procéder à l'expérience comme suit : En utilisant la micropipette verser goutte à gouttes 1 ml de la solution mère et de chaque dilution d'eau à analyser dans des endroits différents de la boîte Pétri, (répartir la solution au fond de la boîte par gouttes). Les boîtes sont vides et préparées à cet usage et numérotées. Ensuite ajouter et compléter chacune des boîtes avec 15 ml de la VGRB, fermer la boîte et avec la main provoquer des mouvement rotatoire (forme 8) pour que les solutions se mélange. Après laisser solidifier un peu en zone stérile et couvrir avec le para filme (**Rejesk, 2002**).

- Incuber les boîtes destinées au dénombrement des coliformes fécaux dans l'étuve à 44°C pendant 48 h, sans oublier que le couvercle doit être déposé vers le bas pour que la condensation d'eau s'accumule dans le couvercle.
- Incuber les boîtes destinées au dénombrement des coliformes totaux dans l'étuve à 37°C pendant 48 h, sans oublier que le couvercle doit être déposé vers le bas pour que la condensation d'eau s'accumule dans le couvercle.

Après 48h calculer le nombre de colonies formées à l'aide d'un compteur de colonie bactérienne et le comptage se fait de façon manuelle en utilisant un stylo (**Rejesk, 2002**). Les résultats sont exprimés par la formule (**Kasse et al., 2014**) :

$$\text{UFC} = [\text{nombre des colonies} / \text{volume d'échantillon d'eau (n}_1+0.1n_2)] \times (1/ \text{facteur de dilution})$$

Les résultats sont exprimés en UFC/ml (unité formant colonie par millilitre d'échantillon).

n₁ : Nombre de boîtes considérées à la première dilution retenue.

n₂ : Nombre de boîtes considérées à la seconde dilution retenue.

Dans notre cas nous avons utilisés dans l'expérience seulement les boites de pétri contant la solution mère (sans aucune dilution) la formule appliquée était réduit à (Kasse *et al.*, 2014) :

$$\text{UFC} = [\text{nombre des colonies} / \text{volume d'échantillon d'eau}] \times (1/ \text{le facteur de dilution})$$

Pour le nombre de colonie :

- Si le nombre est inférieur à 15 colonies par boite, conclure un résultat négatif,
- Si le nombre des colonies est entre 15 et 300 colonies on applique la formule déjà mentionnée,
- Si le nombre des colonies est supérieur à 300 colonies le résultat final est exprimé en plus de 300 microorganismes considérés (Rejesk, 2002).

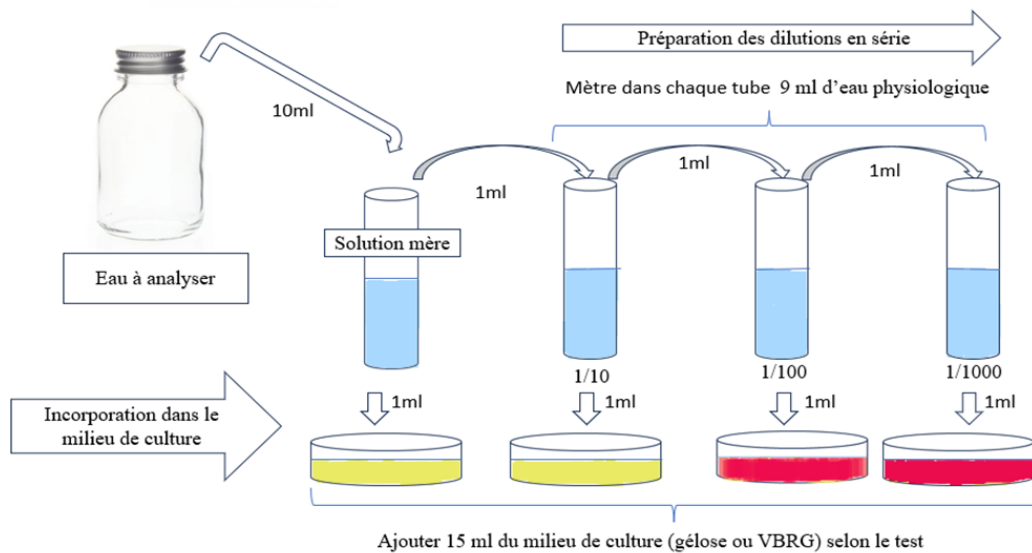


Figure 08. Dénombrement de coliforme et FTAM en milieu solide.

Résultats et Discussion

RÉSULTATS ET DISCUSSION

1. Les paramètres physico-chimiques

1.1. La Température

Les résultats de la température de l'eau des échantillons testés sont représentés dans la figure 09. D'après la figure on remarque que les valeurs sont proches l'une de l'autre. Evidemment parce que la température est celle ambiante. En comparant les résultats avec les normes algériennes (JORA, 2011) et (OMS, 2000) (<25), on remarque que les valeurs sont dans la norme (<25°C) et reste dans l'intervalle ambiant. Le transport des échantillons joue un rôle primordial dans le changement de la température de l'eau à cause de la différence du temps et du lieu entre l'échantillonnage et la mesure. D'une façon générale, la température des eaux est influencée essentiellement par les variations climatiques et par l'origine dont elles proviennent (Rodier *et al.*, 2005).

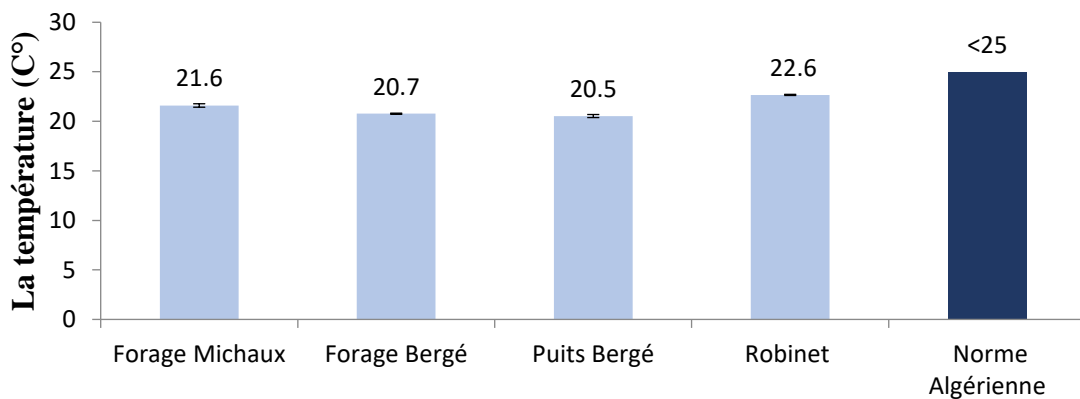


Figure 09. Les valeurs de la température des échantillons d'eau.

1.2. Le potentiel hydrogène (pH)

Les résultats du pH de l'eau des échantillons testés sont représentés dans la figure 10. D'après la figure on remarque que les valeurs se situent entre 7.5 (forage Michaux) et 8.2 (puits Bergé). Ce qui indique une certaine alcalinité légère des eaux. Toutefois les résultats restent dans la norme algérienne de potabilité qui est située entre 6.5 et 9 (JORA, 2011) et (OMS, 2000) (6.5 à 9).

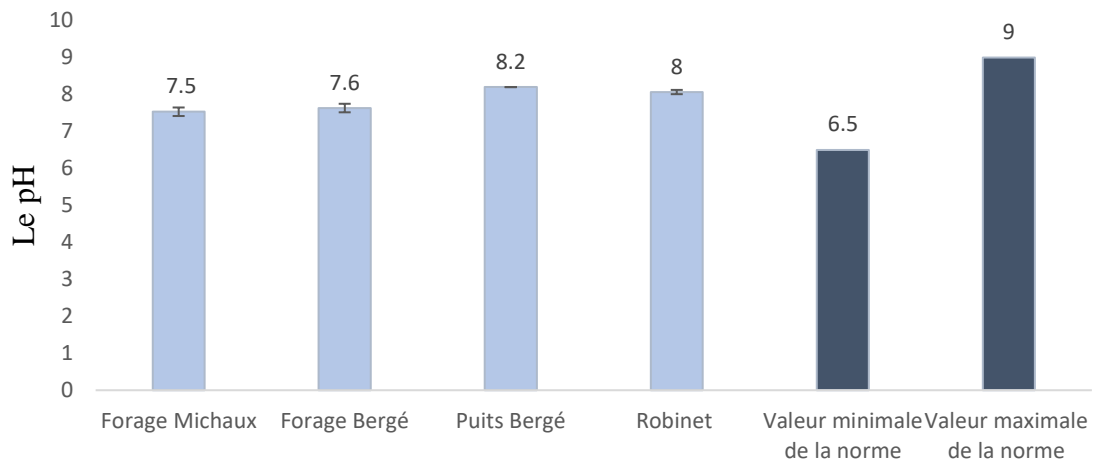


Figure 10. Les valeurs du potentiel hydrogène (pH) des échantillons d'eau.

Le pH joue un rôle physiologique important dans la nature et chez l'homme (**Ehrhardt, 2018**). L'eau a un pH d'environ (7.0), ce qui ne la rend ni alcaline ni acide. L'échelle du pH s'étend de (pH = 0 à 14), tout ce qui est supérieur à (pH = 7.0) étant alcalin et tout ce qui est inférieur à (7.0) étant acide. L'alcalinité est définie comme une valeur de pH supérieure à (7.0) (**Yehia et Said, 2021**). L'eau potable alcaline a été proposée par les partisans de la médecine alternative comme remède pour contrer les effets d'un régime acidogène. Mais, il a été aussi rapporté que les modifications du pH de l'eau potable affectent la composition du microbiote intestinal (**Hasen et al., 2018**).

1.3. La Conductivité électrique

La figure 11 représente les valeurs de la conductivité électriques enregistrées dans les échantillons testés ; elles varient entre une valeur maximale de 4020 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (forage Michaux) et une valeur minimale de 741 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (forage Bergé). Une certaine ressemblance est notée entre les résultats du puits et celui du fourrage Bergé. Cela peut être expliqué par la localisation des deux sites dans le même terrain.

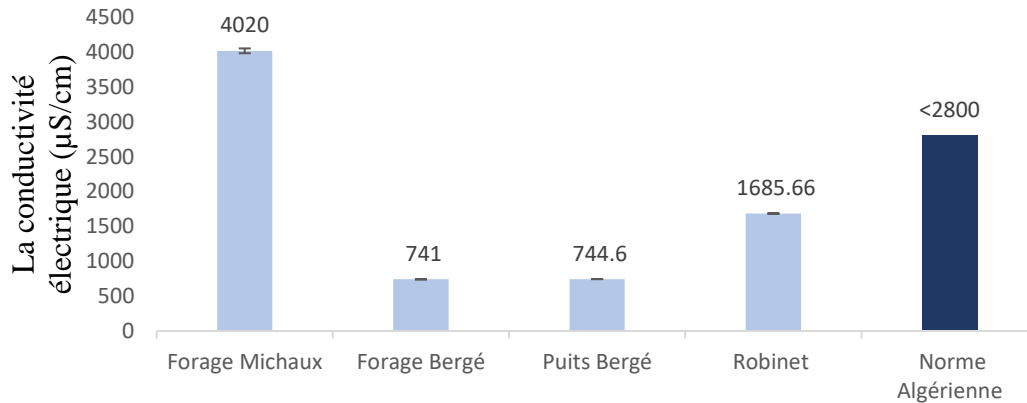


Figure 11. Les valeurs de la conductivité électrique dans les échantillons d'eau.

En comparant ces résultats avec les normes algérienne (**JORA, 2011**) et (**OMS, 1998**) (**2500mg/l**). En remarque que la conductivité de l'eau du forage Michaux est supérieure à celle de la norme algérienne (<2800 µS /cm), alors que les autres échantillons (puits, forage Bergé et robinet) sont conformes aux normes algériennes. La mesure de la conductivité permet d'avoir une idée sur la concentration de l'eau en sels dissous (**ADE, 2011**), donc, on peut conclure que l'eau du forage Michaux est caractérisée par une minéralisation élevée. La conductivité très élevée de l'eau du forage Michaux traduit une forte salinité ce qui est probablement due à la lithologie, mais aussi à des conditions climatiques arides induisent une forte évapotranspiration qui concentre la solution du sol (**Gouaidia et al., 2012**).

1.4. La salinité

Les valeurs de la salinité signalées dans la figure 12 montrent que l'eau du forage Michaux a une salinité très élevée (7.6 %) par rapport aux autres eaux testées (0.36 % eau de puit, 0.63 % eau de forage Bergé et 1.63 % eau du robinet). Ce résultat peut être expliqué par l'utilisation des engrais dans la terre agricole proche du forage, il peut être expliqué aussi par le type du climat ou même la nature de la terre. Les résultats de la salinité vont en concordance avec ceux de la conductivité électrique. Une conductivité élevée traduit le plus souvent une salinité élevée (**El Morhit, 2009**).

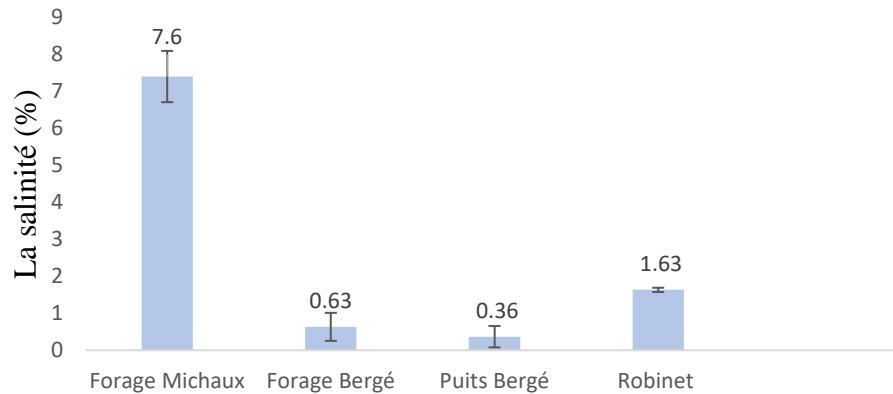


Figure 12. Les valeurs de la salinité dans les échantillons d'eau.

En réalité, les sels qui affectent à la fois les eaux de surface et les eaux souterraines sont souvent une combinaison de : sodium, calcium, potassium, magnésium, chlorures, nitrates, sulfates, bicarbonates et les carbonates. Ces sels proviennent souvent de la croûte terrestre mais, Les engrais ajoutent également des sels dans le sol (**Khengaoui, 2017**). Les sels minéraux contenus dans les eaux d'irrigation ont en outre un impact sur le sol et les plantes, car ils peuvent causer des changements dans la structure du sol et perturber le développement des plantes (**Gouaidia et al., 2013**).

1.5. La teneur en sel dissous (TDS)

Sur la base de la figure 13 nous remarquons que le taux de TDS est inférieur à la norme (**JORA, 2011**) et (**OMS,2006**) (1000 mg/l) dans tous les échantillons sauf dans le cas de l'eau de Michaux des valeurs supérieures à la norme ont été notées ce qui correspond aussi au résultat de la conductivité et la salinité dans lesquelles l'eau du forage Michaux présentait des valeurs élevées. D'autre part, une ressemblance est remarquable entre l'eau du forage Bergé (356.66 mg/l) et celui du puits (359.33 mg/l). Cela peut être expliqué par la localisation des deux sites dans le même terrain. Les résultats enregistrés sont très faibles par rapport à ceux enregistrés dans d'autres travaux sur les forages (**Lachache, 2021**).

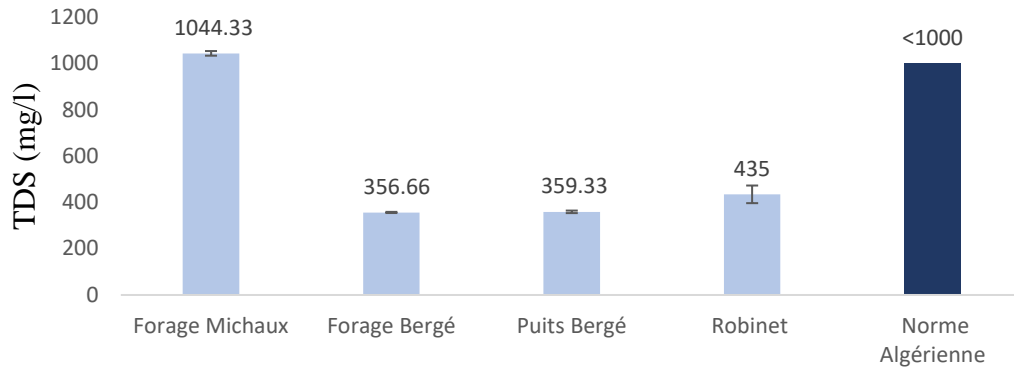


Figure 13. La teneur en sel dissous TDS dans les échantillons d'eau.

Le TDS représente la concentration totale des substances (ions) dissoutes dans l'eau. Il est composé de sels inorganiques (calcium, magnésium, potassium, carbonates, nitrates, bicarbonates, chlorures et sulfates), de quelques matières organiques provenant des activités humaines et d'un certain nombre de sources naturelles (**Maoudo et al., 2020**).

1.6. La turbidité

Dans les résultats de la turbidité (figure 14), une valeur minimale (0.11 NTU) est enregistrée pour l'eau du robinet et une valeur maximale (2.28 NTU) est enregistré pour l'eau du forage Michaux. Tous les échantillons d'eau testés sont dans la limite de la norme algérienne (< 5NTU) (**JORA, 2011**) et (**OMS, 2000**) (<5NTU). Les travaux de (**Hadj, 2020**) sur les eaux des puits sont proches de nos résultats. La turbidité de l'eau donne une idée de la teneur en matières en suspension. Les eaux troubles sont chargées de substances finement divisées (grains de silice, matières organiques, limons ...) (**ADE, 2011**).

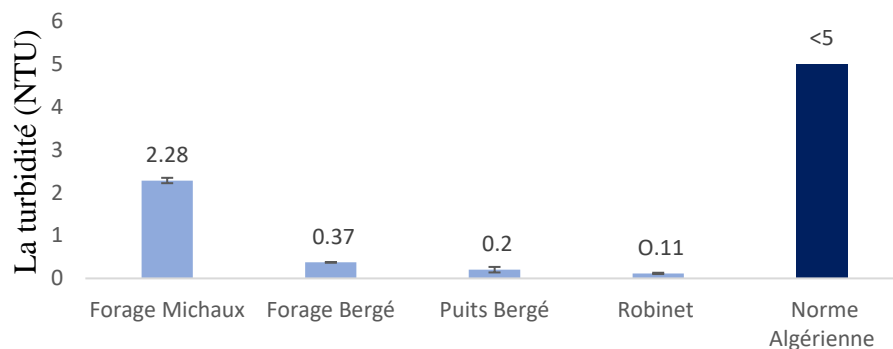


Figure 14. Les valeurs de la turbidité dans les échantillons d'eau.

1.7. La matière en suspension (MES)

Les résultats de ce test sont représentés dans la figure 15. Dans cette étude, une valeur minimale (6 mg/l) de MES est observée dans l'eau de puits et une valeur maximale (47.5 mg/l) est observée dans l'eau du robinet cette dernière valeur contrairement aux autres valeurs est supérieur à la norme algérienne fixée pour < 25mg/l (JORA, 2011). Les valeurs enregistrées dans le robinet peuvent être liée à la présence de la matière solide dans les réservoirs d'eau. Avec le temps, des sédiments et des dépôts de minéraux peuvent se déposer au fond des réservoirs d'eau. Ces particules en suspension peuvent se mélanger à l'eau lorsqu'elle est pompée vers les conduites de distribution. Les résultats de ce test ne sont pas comparables avec ceux de la turbidité ainsi, des tests supplémentaires sont nécessaires car la matière en suspension est une cause principale de la turbidité de l'eau. La matière en suspension (MES) représente les particules solides dispersées dans l'eau sans être chimiquement liées avec elle (Rejsek, 2002).

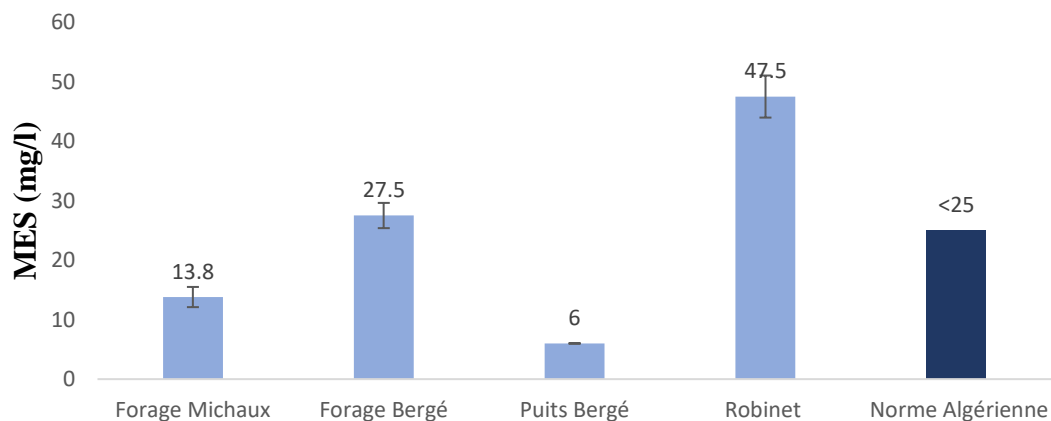


Figure 15. Les valeurs de la matière en suspension (MES) dans les échantillons d'eau.

1.8. Les résidus secs

D'après les résultats démontrés dans la figure 16 le taux des résidus secs sont dans la norme (JORA, 2011) et (OMS, 2000) (2000mg/l) dans tous les échantillons sauf dans le cas de l'eau de Michaux ; des valeurs supérieures à la norme ont été enregistrés ce si correspond aussi au résultat précédent dans lesquelles l'eau du forage Michaux présentait des valeurs élevées.

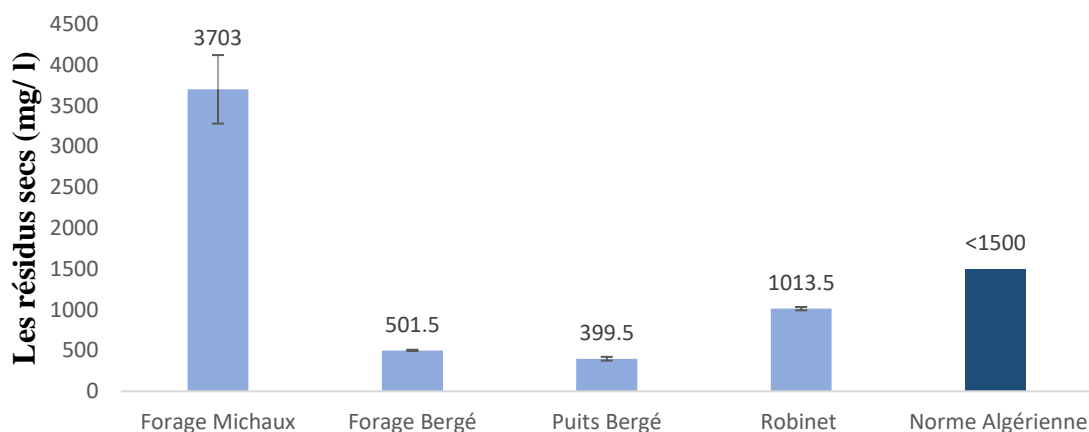


Figure 16. Les valeurs des résidus secs dans les échantillons d'eau.

Selon les quantités recueillies, elles sont classifiées comme suit (**Labadi, 2016**) :

- Plus de 1500 mg/l : eau riche en sels minéraux ;
- Entre 500 et 1500 mg/l : eau moyennement minéralisée ;
- Entre 50 et 500 mg/l : eau faiblement minéralisée ;
- Résidu sec < 50 mg/l : eau très faiblement minéralisée.

A partir de ce classement, les eaux testés sont classées comme suit :

- Forage Michaux : eau riche en sels minéraux ;
- Forage Bergé : : eau moyennement minéralisée ;
- Puits Bergé : eau faiblement minéralisée ;
- Robinet : eau riche en sels minéraux ;

1.9. Alcalinité (TA-TAC)

Le test du TA a démontré un résultat nul car aucune couleur rose n'a apparu après l'ajout du phénol phtaléine (0.5%). Selon Rodier et ses collaborateurs (2009) ; si le TA est nul ca veut dire que le pH de l'échantillon d'eau est inférieur à 8.3, cela correspond à nos résultats du test pH ou tous les échantillon présentaient des valeurs de pH inférieurs à 8.3.

D'autre part, la figure 17 représente les résultats du TAC. D'après la figure une valeur minimale de 200 mg/l est enregistré pour l'eau du robinet et une valeur maximale de 389 mg/l est enregistré pour l'eau du forage Michaux. Tous les échantillons d'eau testés sont dans la limite de la norme algérienne (500mg/l) (**JORA, 2014**).

En comparant ces résultats avec d'autres travaux ; le TAC analysé dans les forages et les puits était inférieur à ces résultats (**Lachache, 2021 ; Berkani, 2013**), par contre des valeurs similaires à nos résultats ont été enregistrées dans l'eau du robinet (**Bedahi et al., 2022**).

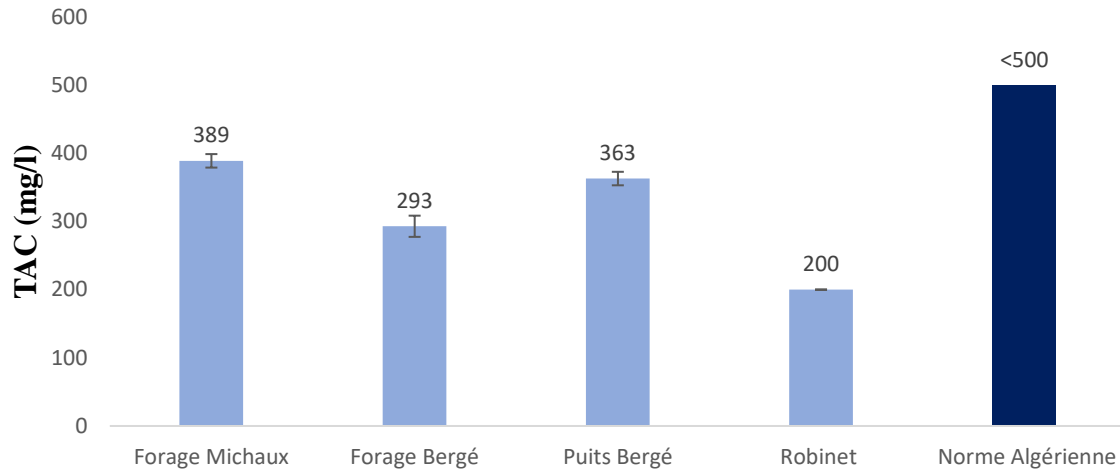


Figure 17. Les valeurs du titre alcalimétrique complet (TAC) dans les échantillons d'eau.

1.10. Les chlorures

D'après les résultats des chlorures (figure 18) on note de fortes concentrations en chlorures car toutes les valeurs enregistrées sont supérieures à la norme algérienne (500mg/l) (**JORA, 2011**) et (**OMS, 2000**) (250mg/l). Ainsi, l'eau du robinet marquait les valeurs les plus élevées étant de 1912.13 mg/l suivi par l'eau du forage Michaux (1792.75 mg/l). En conclue que les eaux testées sont caractérisées par une contamination au chlorure, cette conclusion reste à confirmé par des tests supplémentaires.

Le chlorure (Cl^-) est l'un des principaux anions inorganiques de l'eau salée et douce, généralement présente sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Le chlorure est utilisé comme un indicateur de pollution (**Makhoukh et al., 2011**). Les seuils de toxicité au chlore sont très variables : les plantes telles que les petits fruits, les agrumes et certains légumes sont sensibles à un excès de chlore au contraire des plantes tel que la betterave, le chou, les carotte et beaucoup d'autres espèces comme les céréales sont indifférentes au chlore (**Chérifi et al., 2017**). Dans notre cas et selon les agriculteurs les forages étudiés sont destinés à irriguer des cultures de céréale ainsi, selon la littérature ces cultures peuvent résister aux teneurs élevées du chlorure.

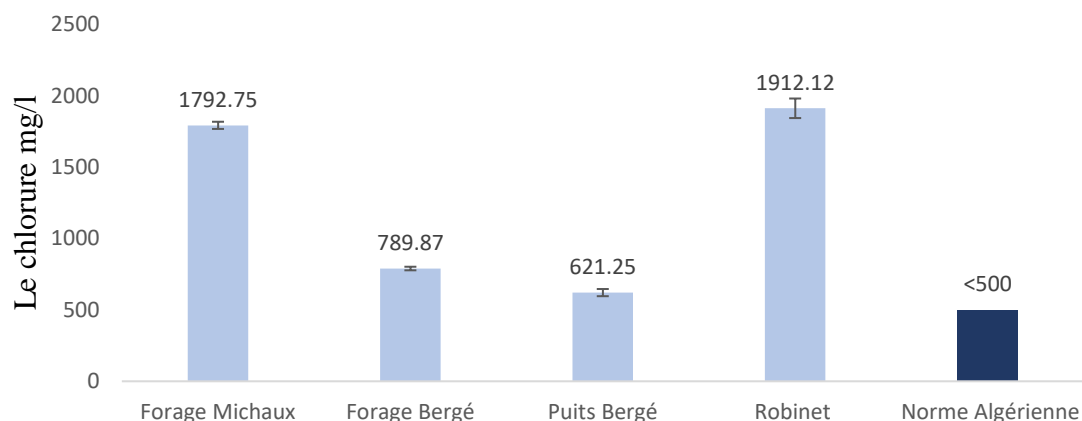


Figure 18. Les valeurs du chlorure dans les échantillons d'eau.

1.11. Dosage des nitrates

La figure 19 présente Les valeurs obtenues des nitrates. On note que les résultats varient entre une valeur minimale (2.98 mg/l) enregistré dans l'eau du robinet et une valeur maximale 16.54 mg/l enregistré dans l'eau du forage Bergé. D'autre part les nitrates dans l'eau du forage Bergé (16.54 mg/l) et du puits Bergé (16.52 mg/l) sont très proche ce qui peut être due au fait que les deux sources se trouve sur le même terrain. D'une manière générale, nos résultats respectent les normes de potabilité Algériennes (50 mg/l) (**JORA, 2011**) et (**OMS, 2000**) ((50 mg/l).

Les nitrates sont présents dans l'eau souterraines grâce au lessivage des produits azotés dans le sol (**Belghiti, 2013**).

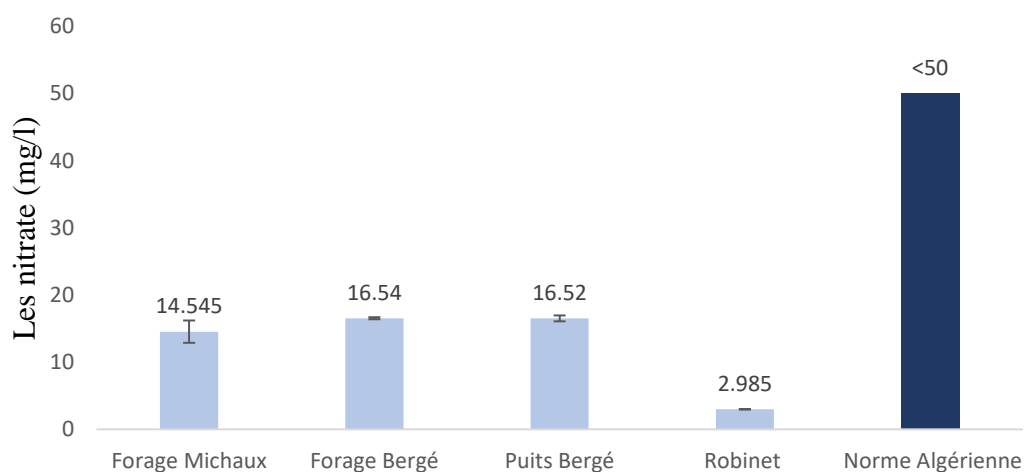


Figure 19. Les valeurs des nitrates dans les échantillons d'eau.

1.12. Dosage de nitrite

Les résultats des nitrites dans les échantillons d'eau testés sont représentés dans la figure 20. D'une manière générale, nos résultats respectent les normes de potabilité Algériennes <0.2 mg/l (JORA, 2011) et (OMS,1998) (0,5 mg/l).

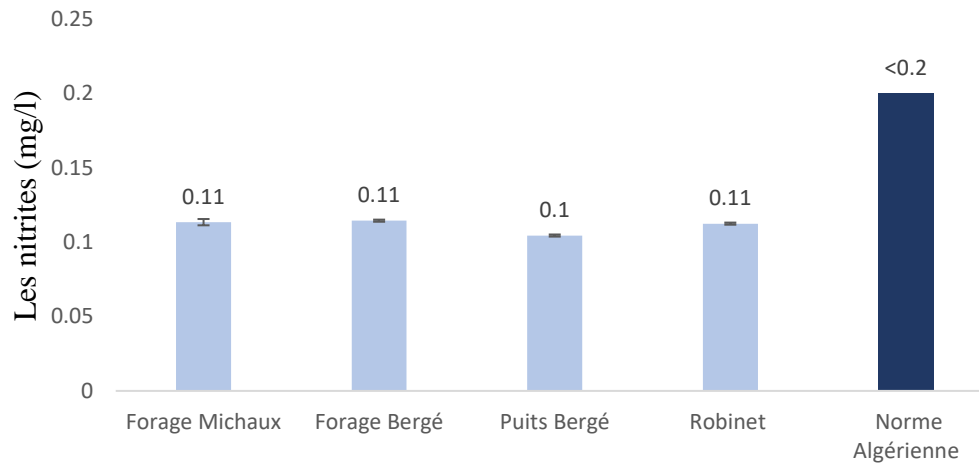


Figure 20. Les valeurs des nitrites dans les échantillons d'eau.

Les nitrites peuvent être rencontrés dans les eaux, mais généralement à des doses faibles, une eau qui renferme des nitrites peut être considérée comme suspecte (El Ouedghiri, 2014).

Les activités humaines, y compris les activités agricoles, l'épuration et l'assainissement, la diffusion des processus industriels et l'élimination des déchets solides sont les sources les plus courantes de pollution par les nitrates et les nitrites. Le problème de la pollution de l'eau par les nitrates et les nitrites se pose dans la plupart des régions du monde. Des études visant à évaluer les effets aigus et chroniques des nitrates et des nitrites ont démontré que différentes concentrations de ces composés dans l'eau et les aliments étaient à l'origine de multiples maladies par exemple la méthémoglobinémie (Parvizishad *et al.*, 2017).

1.13. La dureté totale

D'après les résultats démontrés dans la figure 21 le taux des duretés total sont dans les normes (JORA, 2011) et (OMS, 2000) (<500 mg/l) dans tous les échantillons sauf dans l'eau du forage Michaux des valeurs (2173.33 mg/l) extrêmement supérieur à la norme (<500) ont été enregistrés. La dureté totale très élevée de l'eau du forage Michaux peut traduire une forte concentration de calcium et magnésium car plus leur concentration est élevée plus l'eau est dure (Rejsek, 2002). La dureté est un caractère naturel lié au lessivage

des terrains traversés et correspond à la teneur en calcium et magnésium, elle est aussi un indicateur de la minéralisation de l'eau (Rodier, 1984).

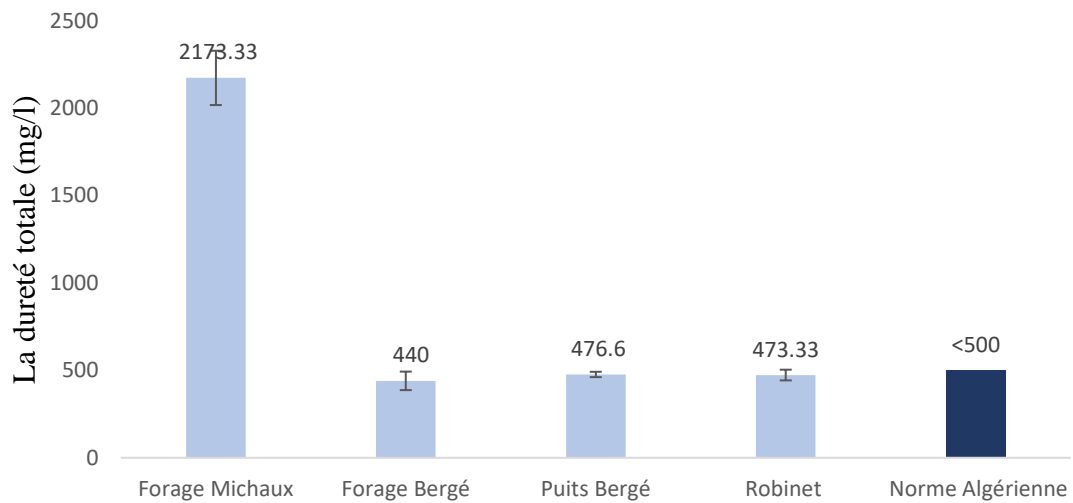


Figure 21. Les valeurs de la dureté totale dans les échantillons d'eau.

1.14. Les sulfates

D'après les résultats démontrés dans la figure 22 le taux des sulfates sont conformes à la norme (JORA, 2011) et (OMS, 2000) (500 mg/l) dans tous les échantillons sauf dans le cas de l'eau de Michaux des valeurs extrêmement supérieur (2348.41 mg/l) à la norme (<400) ont été enregistrés.

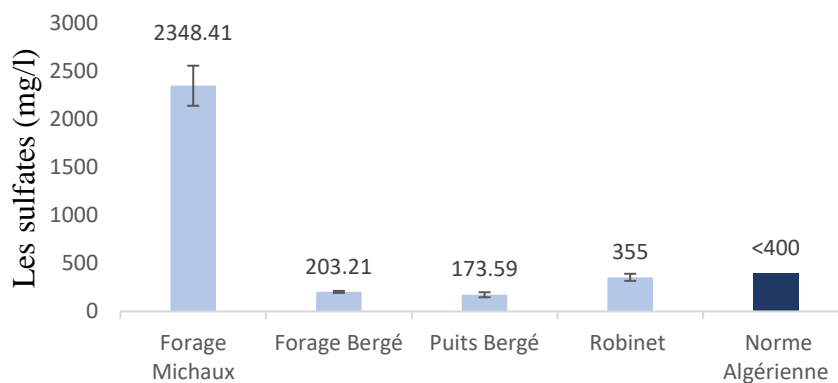


Figure 22. Les valeurs du sulfate dans les échantillons d'eau.

La forme la plus abondante du soufre dans la géosphère est le sulfate. Les sources de sulfate dans les eaux souterraines comprennent la dissolution des minéraux, les dépôts atmosphériques et d'autres sources anthropiques (exploitation minière, engrais, etc.). Le gypse contribue de manière importante aux niveaux élevés de sulfate dans de nombreux aquifères du monde. Le sulfate n'est pas très toxique, mais il peut provoquer une catharsis, une déshydratation et des diarrhées, et lorsqu'il est ingéré en grande quantité par absorption alimentaire, les niveaux de méthémoglobine et de sulfémoglobine sont modifiés dans le corps humain et animal (Sharma et Kumra, 2020).

1.15. Matière organique

La figure 23 représente le taux des matières organiques dans les échantillons testés. On note que les résultats varient entre une valeur minimale (3.95 mg/l) enregistré dans l'eau du robinet et une valeur maximale (6.4 mg/l) enregistré dans l'eau du forage Michaux. Tous ces résultats sont supérieurs à la norme (< 3) (JORA, 2011). Selon d'autres travaux réalisés sur d'autres types de robinets et de forage dans la région de Bordj Bou Arreridj, les résultats étaient dans les normes (Khalili et Yahiaoui, 2021 ; Aissani, 2016).

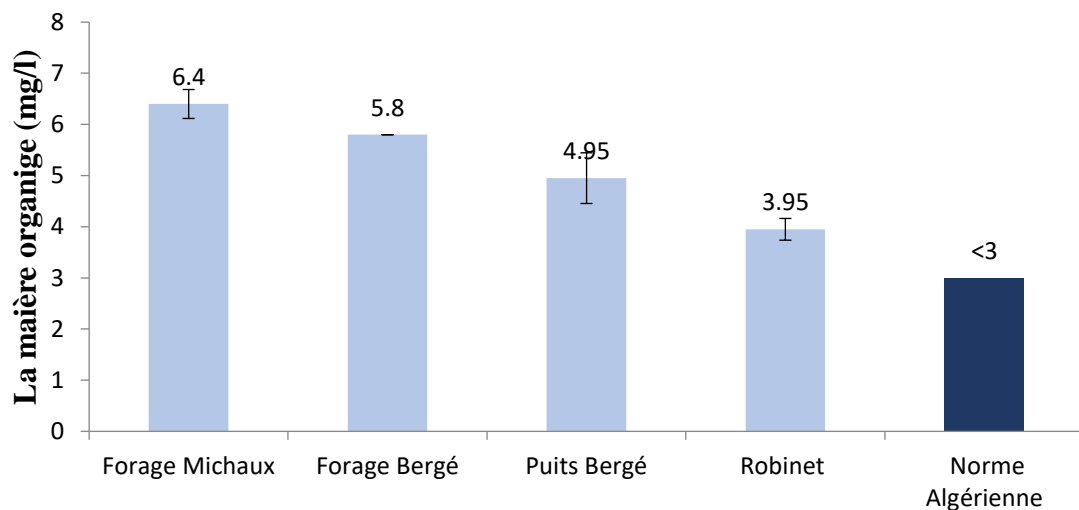


Figure 23. Les valeurs de la matière organique dans les échantillons d'eau.

Selon Rodier et ses collaborateurs (2009), l'augmentation des matières organiques dans l'eau s'accroît avec l'augmentation de la matière en suspension. Les matières organiques susceptibles d'être rencontrées dans les eaux sont constituées par des produits de

décomposition d'origine animale ou végétale, élaborés sous l'influence des microorganismes. Une eau riche en matière organique doit toujours être suspectée de contamination bactériologique ou chimique (ADE, 2011).

2. Paramètres Bactériologiques

2.1. Flore Mésophiles Aérobie Totale (FMAT)

D'après les résultats démontrés dans le tableau 04 on remarque l'absence des FMAT dans les eaux du puits et ceux du forage Michaux. Par contre, la présence de ces bactéries est notée dans le forage Bergé (195 UFC) et le robinet (228 UFC) avec des valeurs supérieures à la norme algérienne (10UFC) (Norme Algériennes, 1992). Le dénombrement des FMAT donne une information sur la qualité hygiénique de l'eau destinée à la consommation humaine, leur présence est une indication de la pollution bactérienne (Bourgeois *et al.*, 1991). En conclusion le forage Bergé et le robinet sont contaminés par des FMAT.

Tableau 04 : Les valeurs de FMAT dans les échantillons d'eau.

Échantillon	Forage Michaux	Puits Bergé	Forage Bergé	Robinet	Norme Algérienne
FMAT	Négative	Négative	195 UFC	228 UFC	10UFC

2.2. Les coliformes totaux

Les résultats des coliformes totaux sont exprimés dans le tableau 05. Selon la norme algérienne l'eau potable ne doit pas contenir les coliformes totaux (Norme Algériennes, 1992). Ainsi, Le puits, le forage Bergé et le robinet n'en contiennent pas ces bactéries, contrairement au forage Michaux qui est contaminés par des coliformes totaux (69 UFC). Les coliformes totaux sont utilisés depuis très longtemps comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale (Chevalier, 2003).

Tableau 05 : Les valeurs des coliformes totaux dans les échantillons d'eau.

Échantillon	Forage Michaux	Puits Bergé	Forage Bergé	Robinet	Norme Algérienne
Coliformes totaux	69 UFC	Négative	Négative	Négative	0

2.3. Les coliformes fécaux

D'après les résultats démontrés dans le tableau 06 on remarque une absence totale des coliformes fécaux dans les échantillons testés et les résultats sont conformes à les norme algérienne (**Norme Algériennes, 1992**) et (**OMS, 2004**). Les coliformes fécaux sont utilisés comme indicateurs de la qualité microbienne de l'eau parce qu'ils peuvent être indirectement associés à une pollution d'origine fécale ou organique (**Chevalier, 2003**).

Tableaux 06 : Les valeurs des coliformes fécaux dans les échantillons d'eau.

Échantillon	Forage Michaux	Puits Bergé	Forage Bergé	Robinet	Norme Algérienne
Coliformes fécaux	Négative	Négative	Négative	Négative	0

Conclusion

CONCLUSION

L'eau fait partie de notre environnement naturel, tout comme l'air que nous respirons. Elle constitue un des éléments familiers et indispensables de notre vie quotidienne. Une eau potable est une eau qui doit respecter certaines normes comme être exempte de bactéries, virus et autres organismes parasites, ne pas contenir de substances chimiques indésirables ou toxiques et contenir certaines substances comme les oligoéléments nécessaires à l'organisme. Elle doit être claire, sans odeur et avoir un bon goût.

Ce travail consiste en un contrôle de quelques paramètres de qualité physicochimique et bactériologique de l'eau destiné à la consommation humaine et à l'irrigation. Cette eau est issue de plusieurs sources (forage Michaux, forage Bergé, puits Bergé et robinet du laboratoire) situées au sud-est de la wilaya de Bordj Bou Arreridj.

Les résultats obtenus durant cette étude ont permis de conclure que :

L'eau du forage Michaux est caractérisée par une minéralisation et une salinité élevée. Il est contaminé par le chlorure, la matière organique et les coliformes totaux. Des teneurs élevées en sulfates sont aussi un des points marquant l'eau de ce forage. Tous les autres paramètres étudiés sont dans les normes de qualité. Pour le puits Bergé Une absence totale des contaminations bactérienne caractérise cette eau, mais malheureusement il est aussi contaminé par la Matière organique et le chlorure. Le Puits Bergé est une eau faiblement minéralisée. D'autre part, L'eau du forage Bergé est classée comme moyennement minéralisée il est aussi contaminé par la matière en suspension, la matière organique et la flores mésophile aérobie totale Le robinet du laboratoire quant à lui, est classée comme une eau riche en sels minéraux totale. Cette eau est aussi contaminée par le chlorure, la Matière en suspension, la matière organique et la flore mésophiles aérobies totale.

D'après les résultats il est à conclure aussi que la qualité diffère d'une eau à une autre, même si les eaux sont souterraines et situées dans la même région. Le forage Michaux reste le plus contaminés parmi tous les échantillons testés.

En perspective :

Il est souhaitable de répéter ce genre d'études en le complétant par des tests sur autres paramètres tels que les métaux lourds par exemple. Il est préférable aussi d'effectuer l'échantillonnage sur de période différents de l'années et durant plusieurs années pour suivre

la qualité de l'eau et comprendre les causes réelles qui contribuent aux résultats obtenus. Il sera aussi de grand intérêt d'étudier la réponse des plantes vis-à-vis des contaminations existantes dans l'eau d'irrigation.

Comme recommandation :

Pour assurer l'innocuité des eaux de distribution il faut améliorer :

- Le control qualité en continue des eaux destinées à la consommation humaine,
- La surveillance des conduites de transfert d'eau potable, La rénovation des réseaux vétustes et le remplacement des conduites non conformes aux normes techniques,
- Surveiller et contrôler l'utilisation des fertilisants et des pesticides afin de minimiser ou éviter la migration des excès vers les eaux souterraines.

Liste des Références

LISTE DES REFERENCES

A :

- **Abdessamad D. (2005).** L'eau Matière Stratégique Et Enjeu De Sécurité Au 21ème Siècle Université Paris 10 - Des Sciences Politiques.
- **Abdesselem A. (1999).** Suive De La Qualité Microbiologique Et Physicochimique De Trois Serres Alimentant De La Région De Tlemcen. Mémoire D'ingénieur Institut De Biologie. Université De Tlemcen, P 2-18.
- **Ade. (2011).** Algérienne Des Eaux. https://Drive.Google.Com/File/D/1dwbhxu-4m_Sui4bmfpnylubbq1lx-Cbq/View?Usp=Drivesdk.
- **Aissani S. (2016).** Etude Physico-Chimique Et Bactériologique D'eau Des Forages Destinées L'alimentation Dans La Région De Tipaza. Mémoire De Fin D'étude. Université De Blida 1, P49.
- **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 Badji Mokhtar, Annaba, P94.

B :

- **Benkaddour B. (2019).** Contribution À L'étude De La Contamination Des Eaux Et Des Sédiments De L'oued Cheliff (Algérie). Thèse De Doctorat. Université De Perpignan Via Domitia, Et Université De Mostaganem, P141.
- **Beauchamp J. (2005).** Cour Sedimentologie Chapitre 3 L'altération Des Continents. Université Picardie Jules-Verne, France.
- **Bedahi A., Grana M., Rehamnia M. & Rehamnia Y. (2022).** Etude De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Du Robinet De Quelques Quartiers De La Ville De Guelma. Mémoire De Master. Université 8 Mai 1945, Guelma, P70.
- **Belghiti M., Chahlaoui A., Bengoumi D. & El Moustaine R. (2013).** Etude De La Qualité Physico -Chimique Et Bactériologique Des Eaux Souterraines De La Nappe Plio-Quaternaire Dans La Région De Meknès (Maroc). Larhyss Journal, 14, P 21-36.
- **Benaissa A., Babelhadj B., Zahari N., Khouildi H. & Babelhadj T. (2016).** Contribution À L'étude De Quelques Critères Physicochimiques De L'eau Vendue En Citermes Dans La Wilaya D'ouargla. Journal Of Advanced Research In Science And Technology, 3(2), P351-359.

- **Berkani A. (2013).** Qualité Physico-Chimique Et Microbiologique Des Eaux De Puits. Mémoire De Master Académique. Université Saad Dahlab, Blida, P85.
- **Berrahal Y. (2019).** Evaluation De La Matière Organique Dans Les Eaux De Surface De Barrages De L'ouest D'algerie Et Évolution Des Trihalométhanes Et Le Plomb Dans Le Réseau D'eau Potable. Thèse De Doctorat. Université Djillaliliabes, Sidi Bel Abbés, P173.
- **Boglin J. (2009).** Propriétés Des Eaux Naturelles. Technique De L'ingénieur, Traité Environnement, G1 110.
- **Bouakaz M. &Neffah W. (2020).** Etude Comparative De La Qualité Physico-Chimique Et Microbiologique De Certaines Oueds Et Plages De La Wilaya De Jijel. Mémoire De Master. Université Mohamed Seddik Benyahia, Jijel, P62.
- **Bourgeois R., C-M., Mescle J-F. &Zucca J. (1991).** Microbiologie Alimentaire. Aspect Microbiologique De La Sécurité Et De La Qualité Des Aliments.Tome1. Éditions : La Voisier. Tec Et Doc, P260-261.
- **Boussahel S. (2021).**Qualité, Environnement Et Sécurité cours.
- **Bouziane M. (2006) .** L'eau Dans Tous Ses États. Dar El Gharb, Algérie, P260.

C :

- **Chérifi Kh., Anagri A., Boufous E.& Mousadik A. (2017).** Effet Du Chlorure De Sodium (NaCl) Sur La Croissance De Six Espèces D'acacia. American Journal Of Innovative Research And Applied Sciences, 4(4), P 105-113.
- **Chevalier P. (2003).** Coliformes Totaux, Institut National De Santé Publique Du Québec Groupe Scientifique Sur L'eau. Fiche Coliforme Totaux, P 4.

D :

- **Debabza M. (2001).** Analyse Microbiologique Des Eaux Des Plages De La Ville D'annaba. Thèse De Magister. Université Badji-Mokhtar, Annaba, P 127.
- **Derradji S. &Mechehoud N. (2021).** Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Et Organique Des Eaux Souterraines De La Commune De Hamma Bouziane Approvisionnées À La Consommation Humaine. Mémoire De Master. Université Des Frères Mentouri, Constantine 1, P6.

E :

- **Ehrhardt P. (2018).** Ph In Nature, Humans and Skin. J Dermatol, 45(9), P1044-1052.
- **El Ouedghiri K., El Oualti A., El Ouchy M., Zerrouq F., Ouazzani Chahdi F. & El Ouali Lalami A. (2014).** Risques Sanitaires Liés Aux Composés Chimiques Contenus Dans L'eau De Boisson Dans La Ville De Fès : Cas Des Ions Nitrates Et Nitrites (Health Risks Of The Chemicals In Drinking Water In The City Of Fez : Nitrate And Nitrite Ions). J. Mater. Environ. Sci. 5 (S1), P 2284-2292.
- **Ezziane S. (2007).** Traitement Des Eaux De Rejets. Le Mémoire De Magister. Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, P 186.

F :

- **Fakihlanjri A., Brigui J., El Cadi A., Khaddor M. & Salmoune F. (2014).** Caractérisation Physico-Chimique Et Bactériologique Des Eaux Souterraines De Tanger (Physico-Chemical And Bacteriological characterization groundwater Of Tangier). Mater. Environ. Sci, 5 (S1), P2230- 2235.

G :

- **Ghazali D. & Ziad A. (2013).** Etude De La Qualité Physicochimique Et Bactériologique Des Eaux De La Source Ain Salama –Jerri (Région De Meknes – Maroc). Larhyss, 12, P25-36.
- **Gouaidia L., Guefaifia O., Boudoukha A. & Hemila M.L. (2013).** Évaluation De La Salinité Des Eaux Souterraines Utilisées En Irrigation Et Risques De Dégradation Des Sols : Exemple De La Plaine De Meskiana ,Nord-Est Algérien. Geo-Eco-Trop, 37(1), P81-92.
- **Gouaidia L., Guefaifia O., Boudoukhaa., Laidhemila M. & Claude M. (2012).** Évaluation De La Salinité Des Eaux Souterraines Utilisées En Irrigation Et Risques De Dégradation Des Sols : Exemple De La Plaine De Meskiana (Nord-Est Algérien), 6, P141-160.

H :

- **Hadj Ch. (2020).** Etude Comparative De La Qualité Physico-Chimique Et Bactériologique Entre Eau De Puits De Si Abdelghani (Tiaret) Et Puits De Daïa (Ghardaïa). Mémoire Master. Université De Ghardaïa, P50.

- **Hamoudi. (1999).** Analyse Bactériologique De L'eau De Consommation Et Études Des Principales Maladies La Transmission Hydrique Dans La Wilaya De Béjaia. Mémoire De Diplôme. D'étude Universitaire Appliquée En Écologie. Bejaia, F, S, N, O Université De Béjaia.
- **Hansen T. A., Thomassen M. T., Madsen M.L., Kern T., Bak E.G., Kashani A., Allin K.H., Hansen T, & Pedersen. (2018).** The Effect Of Drinking Water Ph On The Human Gut Microbiota And Glucose Regulation: Results Of A Randomized Controlled Cross-Over Intervention. Scientific Reports, 8, P16626.
- **Hawa S. (2002).** Analyse Physico-Chimique Et Bactériologique Au L.N.S. Des Eaux De Consommation De La Ville De Bamako Durant La Periode 2000 Et 2001. Thèse De Doctorat. Université De Bamako, P69.

J :

- **Jora. (2011).** Journal Officiel De La République Algérienne. Décret Exécutif N°11-125 Du 22 Mars 2011. Relatif À La Qualité De L'eau De Consommation Humaine.
- **Jora. (2014).** Journal Officiel De La République Algérienne. Décret Exécutif N°13 Du 9 Mars 2014. Relatif À La Qualité De L'eau De Consommation Humaine.

K :

- **Kahoul M., Derbal N., Alioua A. & Ayad W. (2014).** Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux De Puits Dans La Région De Berrahal (Algerie). Larhyss Journal, 18, P 169-178.
- **Khengaoui Kh. (2017).** Étude De L'effet De La Salinité Des Eaux Usées Sur Le processus De La Filtration Lente Sur Sables. Thèse De Doctorat. Université Kasdimerbah, Ouargla, P85.
- **Kasse M., Mady C., Aminata T., Marie-N-D-C & Aliou G. (2014).** Qualité Microbiologique Des Tranches De Mangues (*Mangifera indica* L.) Vendues À Dakar (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci, 8(4), P 1611-1619.
- **Khalili Kh. & Yahiaoui I. (2021).** Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Et Microbiologique De L'eau De Seguia De Timliha – Adrar. Mémoire De Master. Université Ahmed Draïa, Adrar, P83.

L :

- **Labadi A.S. & Hammache H. (2016).** Etude Comparative Des Eaux Minérales Et Des Eaux De Sources Produites En Algérie. Larhyss Journal, 28, P 319-342.
- **Lachache A. (2021).** Interaction Bactéries-Matériaux Des Systèmes De Distribution D'eau Potable Dans La Région De Ouargla : Rôle Des Propriétés Physico-Chimiques De Surface Sur Le Pouvoir D'adhésion. Thèse Doctorat. Université Kasdimerbah, Ouargla, P105.

M :

- **Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A. & Van Clooster M. (2011).** Contribution À L'étude Physico-Chimique Des Eaux Superficielles De L'oued Moulouya (Maroc Oriental). Larhyss Journal, (9), P 2521-9782.
- **Maoudo H., Ibrahima D., Momar N., Birame N., Cheikh Tidiane D., Dame C. & Abdoulaye D. (2020).** Etude Comparative De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux De Puits Et De Forage Consommées Dans La Commune De Sinthioumaléme Dans La Région De Tambacounda (Sénégal). Int. J. Biol. Chem. Sci. 14(9), P 3400-3412.
- **Marsily G. (1995).** L'eau. Édition : Flammarion. P128.
- **Mechid F., Selmane N. & Ziateni S. (2020).** Caractérisation Physicochimique Et Bactériologique Des Eaux De Barrage Boukerdane (Tipasa). Mémoire De Master. Université Blida1, P55.

N :

- **Nathalie G. (2005).** Qualité Bactériologique De L'eau Et L'impact En Élevage Bovin Laitier Université Claud Bernard-Lyon.
- **Norme Algérienne. (1992).** Na.6360 1^{er} Édition, Ed Ex. Inapi. Ianor.
- **Nouayti1 N., Khattach D. & Hilali M. (2015).** Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Souterraines Des Nappes Du Jurassique Du Haut Bassin De Ziz (Haut Atlas Central, Maroc). J. Mater. Environ, 6(4), P1068-1081.

O :

- **Olivaux Y. (2007).** La Nature De L'eau. Ed. Marco Pietteur. France, P563.
- **OMS. (2004).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. 3ème édition, Vol 1. Directives, Ed. Organisation mondiale de la sante, Genève, P 110.

- **OMS. (1998).** Organisation mondiale de la santé. Directive 98/83/CE du conseil du 3 novembre 1998. Relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. Publication des communautés Européennes, Luxembourg. 30p.
- **OMS. (2000).** Directives de qualité pour l'eau de boisson. Volume 2, critères d'hygiène et documentation à l'appui, 2ème édition, 1050 p.

P :

- **Parvizishad M., Dalvand A., Mahvi A.H. & Fatemeh G. (2017).** A Review Of Adverse Effects And Benefits Of Nitrate And Nitrite In Drinking Water And Food On Human Health. Health Scope: Vol.6, Issue 3, P14164.

R :

- **Rejsek F. (2002).** Analyse Des Eaux, Aspects Réglementaires Et Techniques. Série Sciences Et Technique De L'environnement, P360.
- **Rejsek F. (2002).** Analyse Des Eaux, Aspects Réglementaires Et Techniques. Série Sciences Et Technique De L'environnement, P 129-130.
- **Rodier J. (1996).** L'analyse De L'eau : Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, Eau De Mer. 6eme Édition : Dunod, Paris.
- **Rodier J. (1984).** L'analyse De L'eau : Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, Eaux De Mer. Édition : Dunod, Paris.
- **Rodier J. (2005).** L'analyse De L'eau : Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, Eau De Mer. 8eme Édition : Dunod, Paris.
- **Rodier J., Legube B., Merlet N. & Coll. (2009).** L'analyse De L'eau. 9ème Édition. Dunod. Paris, P1526.
- **Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L. (2005).** L'analyse De L'eau, Eaux Naturelles, Eaux Résiduaire, Eau De Mer, Chimie, Physico-Chimie, Microbiologie, Biologie, Interprétation Des Résultats. Ed. Dunod, Paris, P1384.

S :

- **Saggai S., Boutoutaou D. & Sakerm L. (2016).** Réduction De L'évaporation Des Eaux Dans Les Barrages : Une Stratégie Pour Augmenter Le Stockage De L'eau

Dans Les Régions Arides Algériennes. *Journal Des Sciences Hydrologiques*, 61(8), P1548–1554.

- **Sari H. (2014).** Contribution À L'étude De La Qualité Chimique Et Bactériologique De L'eau De Source « Attar » (Tlemcen). Mémoire De Magister. Université Abou-Bakr Belkaid, Tlemcen. Algérie, P65.
- **Sharma M.K& Kumar M. (2020).** Sulphate Contamination In Groundwater And Its Remediation: An Overview. *Environ Monit Assess*, 192, P74.

T :

- **Touahria K. (2013).** Evaluation De La Qualité Des Eaux De Forages Par Comparaison De Leurs Caractéristiques Physico-Chimiques (Région De Tébessa). Mémoire De Magister. Université Mohamed Cherif Massaadia, Souk-Ahras, P133.

Y :

- **Yehia H.M.A.-S. & Said S.M. (2021).** Drinking Water Treatment: Ph Adjustment Using Natural Physical Field. *Journal Of Biosciences And Medicines*, 9, P55-66.

Z :

- **Zeghoud M. (2014).** Etude De Système D'épuration Des Eaux Usées Urbaines Par Lagunage Naturel De Village De Méghibra. Mémoire De Fin D'étude De Master. Université D'el-Oued, P70.
- **Zereg S. (2019).** Impacts De L'irrigation Sur La Qualité Des Eaux Souterraines Des Régions Semi-Arides. Cas De La Région De Tébessa. Thèse De Doctorat. Université Batna 2, P146.
- **Ziani D. (2017).** Quantification De La Pollution Anthropique Des Eaux Souterraines de L'aquifere De Ain Djasser. Est Algerien. Thèse De Doctorat. Université Benboulaïd-Batna 2, P142.

