

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département de Biologie

Mémoire Présenté en Vue de l'Obtention du Diplôme de

MASTER

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Par : M. DJANI Nadjem & M. ABDELAZIZ Smail

Thème:

**Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des
eaux potables de la région de Ghardaïa**

Soutenu publiquement le 15 Juin 2025, devant le jury composé de :

| | | | |
|-------------------|-------------------------------|---------------|--------------|
| M. NEGAIS H. | Maître de Conférences "B" | Univ-Ghardaïa | Président |
| M. IDER S. | Maître de Conférences "B" | Univ-Ghardaïa | Examineur |
| M. MAHAMEDI A. E. | Maître de Conférences "B" | Univ-Ghardaïa | Promoteur |
| M. DJANI I. | Ingénieur en génie biologique | ADE-Ghardaïa | Co-promoteur |

Année universitaire 2024–2025

Dédicace

Tous d'abord, louange à Allah qu'il m'a guidé tout au long de ma vie, qu'il m'a donné le courage et la patience pour passer tous les moments difficiles.

À ma mère, qui m'ont entouré de tout pour son amour, sa tendresse, et pour sa soutien moral et matériel durant toutes les étapes de mon parcours.

À la mémoire de mon père Dine, qui as marqué ma vie de son amour, de sa bienveillance, son absence laisse un grand vide, mais son souvenir me donne une force qui m'accompagne chaque jour, je prie dieu qu'il fasse de ta tombe un jardin parmi les jardins de paradis.

À mes sœurs et mes frères, surtout Ibrahim pour le bon accompagnement durant la réalisation de ce travail.

À tous la famille Djani et Bachiri et Medjdoub

À tous mes professeurs qui m'ont accompagné tout au long de mon parcours scolaire et universitaire

À tous mes amis.

Enfin, j'exprime ma vive et profonde reconnaissance à tous ceux que j'ai oublié de citer et qui de près ou de loin se sont associés pour l'élaboration de ce travail.

Nadjem

Dédicace

Je, Abdelaziz Smail, tiens à exprimer ma plus profonde gratitude en premier lieu à Allah Tout-Puissant, source de sagesse, de force et de patience, qui m'a guidé tout au long de ce parcours.

Je dédie ce travail avec respect et reconnaissance à mes chers parents pour leur amour infini et leurs sacrifices silencieux, à ma famille pour son soutien constant et ses prières, à mes enseignants pour leur générosité intellectuelle, à mes amis pour leur fidèle compagnonnage, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont cru en moi.

Que ce modeste travail soit le reflet de mon attachement, de ma reconnaissance et de mon respect envers vous tous.

Smail

Remerciements

L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien d'ALLAH et l'aide de certaines personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Nous, ABDELAZIZ SMAIL et DJANI NADJEM, tenons à exprimer notre profonde gratitude à l'ensemble des personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail de mémoire intitulé : *Contribution à l'étude de la qualité microbiologique des eaux potables de la région de Ghardaïa.*

En premier lieu, nous exprimons notre profonde et sincère gratitude à M. MAHAMED I A. E., Maître de conférences à l'université de Ghardaïa, pour son encadrement exceptionnel, sa bienveillance, sa patience et ses conseils précieux tout au long de ce projet. Son expertise, sa disponibilité et son dévouement ont été une source inestimable d'inspiration et de motivation.

Nos remerciements vont à M. NEGAIS H., Maître Assistant à l'université de Ghardaïa de nous avoir honoré par la présidence de Jury d'évaluation. Nous remercions également M. IDER S., maître de conférences à l'université de Ghardaïa, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons également à remercier M. DJANI IBRAHIM, ingénieur principal au laboratoire de l'ADE-Ghardaïa, pour son soutien et ses orientations tout au long de ce travail., pour leur bienveillance, leurs conseils précieux et leur encadrement tout au long de ce projet. Son expertise et sa disponibilité ont été d'une aide inestimable.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers l'ensemble de l'équipe du laboratoire de l'Algérienne Des Eaux (ADE) de Ghardaïa, pour leur accueil chaleureux et leur soutien logistique. Leur collaboration a grandement facilité la collecte et l'analyse des données.

Enfin, que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de notre gratitude.

Résumé

La présente étude vise à évaluer la qualité bactériologique des eaux potables distribuées dans la région de Ghardaïa (Algérie), à travers l'analyse de 30 échantillons prélevés dans différentes communes. Les analyses ont été effectuées selon les protocoles normalisés de l'Algérienne des Eaux (ADE), en se concentrant sur plusieurs indicateurs bactériologiques : coliformes totaux, *Escherichia coli*, streptocoques fécaux et spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (ASR). Les résultats révèlent un taux de conformité élevé par rapport aux normes algériennes, avec une absence totale de spores ASR dans tous les échantillons, un taux de conformité de 93,3 % pour les coliformes totaux et *E. coli*, et de 90,0 % pour les streptocoques fécaux. Toutefois, la détection ponctuelle d'*E.coli* et de streptocoques fécaux à des concentrations parfois significatives dans certains forages indique une contamination fécale récente ou persistante, posant un risque potentiel pour la santé publique. Ces constats soulignent l'importance d'un renforcement des dispositifs de surveillance, de protection des forages et d'optimisation des traitements de désinfection. L'étude met également en lumière la nécessité d'investigations complémentaires et d'une approche intégrée combinant analyses microbiologiques, physico-chimiques et hydrogéologiques afin d'assurer une gestion durable et sécurisée de la ressource en eau potable.

Mots clés : Qualité microbiologique, *Escherichia coli*, Streptocoques fécaux, Clostridium sulfito-réducteurs, Coliformes totaux, Ghardaïa.

Abstract

This study aims to evaluate the bacteriological quality of drinking water distributed in the Ghardaïa region (Algeria) by analyzing 30 samples collected from various municipalities. The analyses were performed according to standardized protocols from the Algerian Water Company (ADE), focusing on key bacteriological indicators, such as total coliforms, *Escherichia coli*, fecal streptococci, and sulfite-reducing anaerobic spores (ASR). The results show high compliance with Algerian drinking water standards: 100% compliance for ASR spores, 93.3% for total coliforms and *E. coli*, and 90.0% for fecal streptococci. However, the occasional detection of *E. coli* and fecal streptococci—sometimes in significant concentrations—indicates recent or persistent fecal contamination, posing a potential risk to public health. These findings highlight the need to strengthen monitoring systems, protect catchment areas, and optimize disinfection treatments. The study also recommends further investigations and a holistic approach combining microbiological, physicochemical, and hydrogeological analyses to ensure safe and sustainable management of potable water resources.

Keywords: Microbiological quality, *Escherichia coli*, fecal streptococci, Sulfite-reducing clostridia, Total coliforms, Ghardaïa.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الجودة الميكروبيولوجية لمياه الشرب الموزعة في منطقة غرداية ، من خلال تحليل 30 عينة مأخوذة من مناطق مختلفة. تم إجراء التحاليل وفقاً لبروتوكولات مؤسسة الجزائرية للمياه (ADE)، ومنظمة التقييس الدولية (ISO) مع التركيز على المؤشرات البكتيرية الرئيسية مثل: القولونيات الكلية، الإشريكية القولونية (*E. coli*) ، المكورات العقدية البرازية، والأبواغ اللاهوائية المختزلة للكبريتات (ASR). أظهرت النتائج نسبة امتثال عالية للمعايير الجزائرية لمياه الشرب، حيث تم تسجيل 100% امتثال لأبواغ ASR ، و93.3% للقولونيات الكلية و*E. coli*، و90.0% للمكورات العقدية البرازية. ومع ذلك، فإن الكشف العرضي عن *E. coli* والمكورات العقدية البرازية في بعض العينات، وأحياناً بتركيزات مرتفعة، يشير إلى وجود تلوث برازي حديث أو قديم، مما يمثل خطراً صحياً محتملاً. تبرز هذه النتائج الحاجة إلى تعزيز أنظمة المراقبة، وتحسين عمليات التطهير. كما توصي الدراسة بإجراء تحقيقات إضافية واعتماد مقاربة متكاملة تشمل التحاليل الميكروبيولوجية والفيزيوكيميائية والهيدروجيولوجية لضمان إدارة آمنة ومستدامة لموارد مياه الشرب.

الكلمات المفتاحية : الجودة الميكروبيولوجية ، الإشريكية القولونية ، المكورات العقدية البرازية ، الكلوستريديوم المختزلة للكبريتات، القولونيات الكلية، غرداية .

Index des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Les caractéristiques des différents points de prélèvement. | 12 |
| Tableau 2 : les paramètres d'analyse d'eau adoptés par l'ADE-Ghardaïa..... | 15 |
| Tableau 3 : Les résultats des analyses microbiologiques des échantillons prélevés..... | 22 |
| Tableau 4 : Points de Prélèvement Présentant des Contaminations Microbiologiques | 30 |
| Tableau 5 : Synthèse des Résultats Microbiologiques par Zone Géographique..... | 31 |

Index des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Carte de l'Algérie montrant la localisation géographique de la Wilaya de Ghardaïa..... | 7 |
| Figure 2 : Carte géographique de la Wilaya de Ghardaïa. | 8 |
| Figure 3 : Stockage et transport d'échantillons..... | 11 |
| Figure 4 : Représentation géographique montrant les différents points d'échantillonnage dans la wilaye de Ghardaïa. | 14 |
| Figure 5 : La recherche et le dénombrement des coliformes totaux par filtration sur membrane..... | 17 |
| Figure 6 :La recherche et le dénombrement des entérocoques intestinaux (les streptocoques fécaux)..... | 19 |
| Figure 7 : La recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs par filtration sur membrane..... | 21 |
| Figure 8 : Figure montre une résultat positif pour les coliformes totaux | 23 |
| Figure 9 : Taux de conformité des coliformes totaux. | 24 |
| Figure 10 : Photo montrant le test oxydase négatif..... | 24 |
| Figure 11 : Figure montrant un résultat positif pour <i>E. coli</i> | 25 |
| Figure 12 : Taux de conformité pour <i>E. coli</i> | 25 |
| Figure 13 : Figure montre une résultat positif pour les streptocoques fécaux | 26 |
| Figure 14 : Taux de conformité pour le groupe des streptocoques fécaux..... | 26 |
| Figure 15 : Figure montre une résultat négatif pour les spores des clostridium sulfito-réducteurs | 27 |
| Figure 16 : Taux de conformité des spores des anaérobies clostridium sulfito-réducteurs. ... | 27 |
| Figure 17 : Taux de Conformité Microbiologique par Zone Géographique | 28 |
| Figure 18 : Valeurs Maximales de Contamination par Zone et Paramètre | 29 |

Liste des abréviations

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

ADE : Algérienne Des Eaux.

pH : Potentiel d'Hydrogène.

N.A : Normes Algériennes.

E. Coli : *Escherichia coli*

CF : Coliformes Fécaux.

CT : Coliformes Totaux.

SF : Streptocoque Fécaux

T : Température.

UFC : Unité Formant Colonie

µS/cm : Micro-Siémens/Centimètre.

mg/l : Milligramme par Litre.

TDS: Taux des Sels Dissous

°C : Degré Celsius

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

ml : millilitre.

BBT : Bleu de Bromothymol

Table des matières

| | |
|--|------|
| Dédicace | i |
| Remerciements | iii |
| Résumé | iv |
| Abstract | v |
| ملخص | vi |
| Index des tableaux | vii |
| Index des figures | viii |
| Liste des abréviations | ix |
| Table des matières | x |
| Introduction | 1 |
| Méthodologie | 7 |
| 1. Présentation de la zone d'étude | 7 |
| 1.1. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa..... | 7 |
| 1.2. Limites administratives | 7 |
| 1.3. Organisation administrative..... | 8 |
| 1.4 Hydrologie et hydrogéologie de la Région de Ghardaïa..... | 9 |
| 2. Échantillonnage de l'eau | 9 |
| 2.1. Mode de prélèvement..... | 10 |
| 2.2. Conservation des échantillons..... | 11 |
| 2.3. Choix des points de prélèvement : | 11 |
| 3. Les paramètres d'analyse d'eau..... | 15 |
| 3.1. Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux (CT) et coliformes thermotolérants (CF)..... | 16 |
| 3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux..... | 18 |
| 3.3. Recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs | 20 |
| Résultats | 22 |
| 1. Conformité aux normes réglementaires algériennes | 23 |
| 1.1. Coliformes Totaux | 23 |
| 1.2. <i>Escherichia coli</i> | 24 |
| 1.4. Spores de Micro-organismes Anaérobies Sulfito-Réducteurs (Spores ASR)..... | 27 |
| 2. Analyse Comparative par Zone Géographique | 28 |
| 2.1. Taux de Conformité par Zone Géographique | 28 |

| | |
|---|----|
| 2.2. Intensité de la Contamination par Zone | 29 |
| 2.3. Points spécifiques de contamination | 30 |
| 2.4. Synthèse des résultats par zone | 31 |
| Discussion | 33 |
| Conclusion..... | 36 |
| Références bibliographiques | 38 |
| Annexes..... | I |

INTRODUCTION

Introduction

L'eau constitue un élément fondamental et indispensable à la vie. Elle entre dans la composition de tous les êtres vivants, représentant environ 60 % du poids corporel chez l'adulte humain. Une consommation quotidienne minimale d'environ 1,5 litre est indispensable au bon fonctionnement de l'organisme (Diop, 2006).

Chimiquement, l'eau est une molécule formée d'un atome d'oxygène lié à deux atomes d'hydrogène (H₂O). Ce liquide incolore, inodore et insipide possède des propriétés physiques essentielles à la vie : elle gèle à 0 °C, bout à 100 °C, et agit comme un excellent solvant, d'où sa qualification de « solvant universel » (Gérard, 1999).

L'eau joue un rôle primordial dans de nombreux usages domestiques et économiques : boisson, préparation des aliments, hygiène corporelle, entretien ménager, activités récréatives, mais également dans les secteurs agricoles et industriels pour l'irrigation et les procédés de fabrication (Leemans *et al.*, 2008). Cependant, l'eau peut aussi constituer un vecteur de maladies, notamment lorsqu'elle est contaminée. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, environ cinq millions de nourrissons et d'enfants décèdent chaque année dans le monde en raison de maladies diarrhéiques liées à la consommation d'aliments ou d'eau insalubres (Pulim, 1991).

L'eau, est un constituant fondamental de la biosphère, est le pilier de toute vie sur Terre. Hadj (2020) affirme que « l'eau est au monde ce que le sang est à notre corps », ce qui illustre à la fois sa valeur vitale et son rôle indispensable dans les processus biologiques, physiques et chimiques. En plus de soutenir la vie, l'eau est au cœur du développement économique et social, intervenant dans les activités domestiques, agricoles et industrielles (Aouissi, 2010).

Dans un écosystème, l'eau évolue dans un milieu inerte (le biotope) où se développe une multitude d'organismes (la biocénose) qui, ensemble, forment un système dynamique et autorégulé (Taleb, 2005). C'est cette interaction constante qui permet de maintenir l'équilibre des écosystèmes, conditionné par la disponibilité et la qualité de l'eau.

Bien que l'eau recouvre 70 % de la surface terrestre, seule une fraction infime est accessible pour un usage direct. La majeure partie se trouve sous forme d'eau salée, tandis qu'une portion limitée d'eau douce est exploitable. Dans de nombreuses régions, notamment en Algérie, les nappes souterraines représentent une ressource stratégique. Dans le contexte saharien, ces réserves jouent un rôle déterminant, surtout dans les zones où les précipitations sont rares et où l'eau de surface est quasi absente (Fifati, 2012).

La quasi-totalité de l'eau présente sur Terre, soit 97,5 %, est de l'eau salée contenue principalement dans les océans. Seuls 2,5 % représentent de l'eau douce, essentielle aux besoins humains, agricoles et industriels. Cette eau douce se répartit de manière inégale : 69,5 % sont emprisonnés dans les glaciers et les neiges éternelles, principalement aux pôles et en montagne ; 30,1 % se trouvent sous terre, dans les nappes phréatiques et les aquifères. Une infime partie, seulement 0,27 %, est contenue dans les lacs et les rivières, constituant pourtant la principale source directement accessible pour la consommation humaine. Enfin, 0,13 % de l'eau douce est répartie dans d'autres formes, comme l'humidité du sol, la vapeur d'eau atmosphérique et l'eau contenue dans les êtres vivants.

Les aquifères bénéficient souvent d'un « filtre naturel » formé par des matériaux géologiques, garantissant, dans bien des cas, une eau de qualité relativement préservée. Cependant, l'exploitation accrue et parfois non maîtrisée de ces ressources, conjuguée aux pressions anthropiques, augmente le risque de dégradation de la qualité de l'eau.

La qualité de l'eau conditionne directement la santé publique. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1994) met en garde contre les risques sanitaires liés à une eau non conforme aux normes de potabilité. L'eau contaminée peut être un vecteur de maladies infectieuses, en particulier lorsque la contamination est d'origine fécale. Les paramètres microbiologiques, tels que la présence de Coliformes Totaux (CT), Coliformes Fécaux (CF) et de streptocoques fécaux, sont ainsi des indicateurs essentiels de la pollution et du risque sanitaire (Roux, 1987).

Une mauvaise qualité de l'eau, qu'elle soit liée à des contaminants chimiques, physiques ou microbiologiques, peut entraîner de graves conséquences pour la santé, en provoquant des troubles digestifs, des infections cutanées, voire des maladies systémiques.

Les paramètres de qualité des eaux sont regroupés en trois grandes catégories : physiques, chimiques, et bactériologiques. Voici une présentation détaillée de ces paramètres,

avec les valeurs limites selon la norme algérienne (N.A) et les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Les paramètres physiques sont représentés par :

- Potentiel d'hydrogène (pH) : La norme algérienne exige un $\text{pH} \geq 6,5$ et ≤ 9 , tandis que l'OMS recommande une plage entre 6,5 et 8,5.
 - Température : La température maximale recommandée est de 25 °C pour les deux normes.
 - Conductivité électrique : La limite est de 2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ selon la norme algérienne, contre 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ selon l'OMS.
 - Turbidité : Elle ne doit pas dépasser 5 NTU, aussi bien pour la N.A que pour l'OMS.
 - Sels Totaux Dissous (TDS) : L'OMS recommande une concentration maximale de 1000 mg/l.
- Paramètres bactériologiques reposant sur le dénombrement et la recherche de :
- Coliformes totaux qui doivent être totalement absents dans 100 ml d'eau (0/100 ml) selon les deux normes.
 - *Escherichia coli*, la bactérie qui ne doit pas être détectée dans 100 ml d'eau, aussi bien selon la N.A que l'OMS.
 - Streptocoques fécaux qui doivent être absents dans 100 ml d'eau selon les deux normes.
 - Spores d'anaérobies sulfite-réducteurs (A.S.R) qui ne doivent pas être présents dans 20 ml d'échantillon.

Les eaux souterraines à eux même, pourraient être polluées à travers divers processus, tels que les activités anthropiques et les facteurs naturel. Les principaux facteurs anthropiques sont représentés par l'urbanisation rapide, l'agriculture intensive et certaines activités industrielles contribuent à l'introduction de polluants tels que les nitrates, métaux lourds et autres substances chimiques. Ces polluants s'infiltrent dans le sol, modifiant ainsi la composition physico-chimique de l'eau (Aouissi, 2010). Cependant, les facteurs naturels comportent la nature géologique des terrains, leur porosité et la structure des aquifères influencent également le passage et la rétention d'infiltrations susceptibles de contenir des matières organiques ou d'autres éléments en suspension (Aissaoui, 2013). Il est à noter que même si les eaux souterraines bénéficient d'une protection naturelle, elles ne sont pas immunisées contre la contamination, en particulier lorsque les pratiques de gestion et de protection des zones de captage font défaut.

L'évaluation globale de la qualité des eaux souterraines repose sur deux axes complémentaires qui sont Les paramètres physico-chimiques et les paramètres bactériologiques :

Les paramètres physico-chimiques, tels que le pH, la conductivité, la turbidité et les concentrations ioniques (calcium, magnésium, nitrates, chlorures, etc.), permettent d'identifier d'éventuels déséquilibres et anomalies. Ces mesures fournissent une indication précise sur l'influence des pollutions d'origine agricole ou industrielle sur la composition de l'eau (Arab *et al.*, 2015).

La qualité bactériologique de l'eau constitue un enjeu majeur de santé publique, notamment dans les régions arides où les ressources en eau sont limitées et vulnérables à la contamination. L'analyse microbiologique repose sur la recherche de germes indicateurs de pollution fécale et de contamination générale. Parmi ceux-ci, on retrouve principalement les Coliformes Totaux (CT), les Coliformes Fécaux (CF) (ou thermo-tolérants), les streptocoques fécaux, les clostridies sulfito-réductrices, les micro-organismes revivifiables, les levures, moisissures et les salmonelles (Haijoubi *et al.*, 2017).

Les Coliformes Totaux (CT) désignent un groupe de bactéries Gram négatif, en forme de bacille, non sporulées, appartenant à la famille des *Enterobacteriaceae*. Ce sont des micro-organismes aéro-anaérobies facultatifs, capables de fermenter le lactose à 35-37°C en produisant du gaz. Bien que la plupart soient non pathogènes, certaines souches comme *Escherichia coli* peuvent présenter des risques sanitaires (Chevalier, 2003). Ils sont utilisés comme indicateurs généraux de la qualité bactériologique de l'eau (Guide d'évaluation de la qualité des eaux en lac).

Le sous-groupe des coliformes totaux (CT), les coliformes fécaux (CF), ou coliformes thermo-tolérants, sont capables de se développer à 44 °C et comprennent notamment *Escherichia coli*. Leur présence est généralement associée à une pollution d'origine fécale, bien que certaines souches puissent provenir d'effluents industriels organiques (Painchaud, 1997).

La détection d'*E. coli*, par exemple, est basée sur sa capacité à produire de l'indole à partir du tryptophane à 44°C (Debabza, 2005). Leur survie dans l'environnement est similaire à celle des bactéries pathogènes, ce qui en fait de bons indicateurs d'efficacité des traitements et d'intégrité des réseaux de distribution.

Autrefois regroupés sous le nom de « streptocoques fécaux », ils désignent aujourd'hui les entérocoques intestinaux, notamment les genres *Enterococcus* et *Streptococcus* du groupe D de Lancefield. Ce sont des bactéries Gram positif, catalase négative, anaérobies facultatives, organisées en chaînes ou en paires. Contrairement aux coliformes, ils ne se multiplient pas dans l'eau, ce qui en fait des indicateurs fiables de pollution fécale récente (Maïga, 2005 ; Rodier, 2009). Leur concentration dans les eaux naturelles est souvent inférieure à celle des Coliformes Fécaux (CF), sauf dans les zones à forte pollution d'origine animale.

Les clostridies sulfito-réductrices, notamment *Clostridium perfringens*, sont des bactéries sporulées ubiquistes. Bien qu'elles ne soient pas exclusivement d'origine fécale, leur présence dans les eaux est un indice de contamination ancienne ou d'infiltrations de matières organiques en décomposition ; *C. perfringens* est souvent utilisé comme traceur de pollution d'origine animale. Leur détection est donc complémentaire à celle des coliformes et streptocoques. (Gadin-Goyon, 2002).

La flore mésophile aérobie totale (FMAT), ou flore totale, regroupe les micro-organismes qui se développent à 30°C en présence d'oxygène. Elle inclut une grande variété de bactéries, levures et moisissures, et permet d'évaluer la charge microbienne globale ; Bien que non spécifique, la FMAT est un bon indicateur de l'hygiène générale et de la qualité des traitements appliqués à l'eau (Bonney, 2002 ; Theau, 2005).

Les salmonelles sont des bactéries pathogènes responsables d'infections graves comme la fièvre typhoïde, les gastro-entérites et les toxi-infections alimentaires collectives. Elles appartiennent aux entérobactéries, sont mobiles, Gram négatif, catalase positives, mais oxydase négatives. Leur détection dans les eaux est rare mais cruciale, car elles sont soumises à une réglementation stricte (Carip, 2008).

Les levures et moisissures sont des micro-organismes eucaryotes présents naturellement dans l'environnement. Leur présence excessive dans l'eau potable peut indiquer une dégradation de la qualité microbiologique, bien qu'elles ne soient pas toujours pathogènes (JORADP, 2015). Elles se développent généralement à 25 °C sur milieux gélosés et sont recherchées dans les contrôles d'hygiène de surfaces et d'eaux conditionnées.

Dès lors, l'accès à une eau potable représente un enjeu crucial de santé publique. Une eau destinée à la consommation humaine doit être exempte de contaminants chimiques ou biologiques susceptibles de nuire à la santé, à court ou long terme (John *et al.*, 2010). La

potabilité de l'eau repose sur le respect de normes rigoureuses définies par les autorités, notamment en ce qui concerne la qualité microbiologique.

Parmi les indicateurs bactériologiques les plus pertinents pour évaluer la qualité de l'eau figurent les germes aérobies mésophiles totaux, les Coliformes Totaux (CT) et fécaux, les streptocoques fécaux ainsi que les *Clostridium sulfito-réducteurs*. Ces micro-organismes, généralement d'origine fécale, permettent de détecter la présence éventuelle de pollutions biologiques et d'évaluer le risque sanitaire associé à la consommation de l'eau (Fewtrell *et al.*, 2001).

Notre manuscrit s'articule autour de quatre sections principales. La première partie présente le contexte géographique et hydrogéologique de la région d'étude, ainsi que les enjeux liés à la qualité de l'eau en zone aride. La deuxième partie détaille la méthodologie d'échantillonnage et les techniques analytiques employées pour caractériser la qualité microbiologique des eaux. La troisième partie expose les résultats obtenus, avec une analyse statistique des paramètres mesurés et une évaluation de la conformité aux normes. Enfin, la quatrième partie propose une discussion approfondie des résultats, incluant une interprétation des non-conformités observées, une comparaison avec d'autres études similaires, et des recommandations pour la gestion durable de la ressource en eau dans la région de Ghardaïa.

METHODOLOGIE

Méthodologie

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaïa est située à environ 600 km au sud de la capitale Alger, dans la partie centrale du nord du Sahara algérien, aux portes du désert (Atlas, 2004). Elle s'inscrit dans une zone saharienne caractérisée par un climat aride et un environnement steppique. Ses coordonnées géographiques s'étendent approximativement entre 29° de latitude Nord et 33° de latitude Nord, et entre 2° et 5° de longitude Est (Benguelia & Hadj Brahim, 2018).

1.2. Limites administratives

Selon la loi n° 19-12 du 11 décembre 2019, relative au nouveau découpage administratif du territoire, trois communes ont été retranchées de la wilaya de Ghardaïa – Hassi Lefhal, Hassi El-Gara et El-Menia – pour constituer la nouvelle wilaya d'El-Meniaa. En conséquence, la superficie actuelle de la wilaya de Ghardaïa est estimée à 31 060 km² (Kesbi et Kouzrit, 2021).

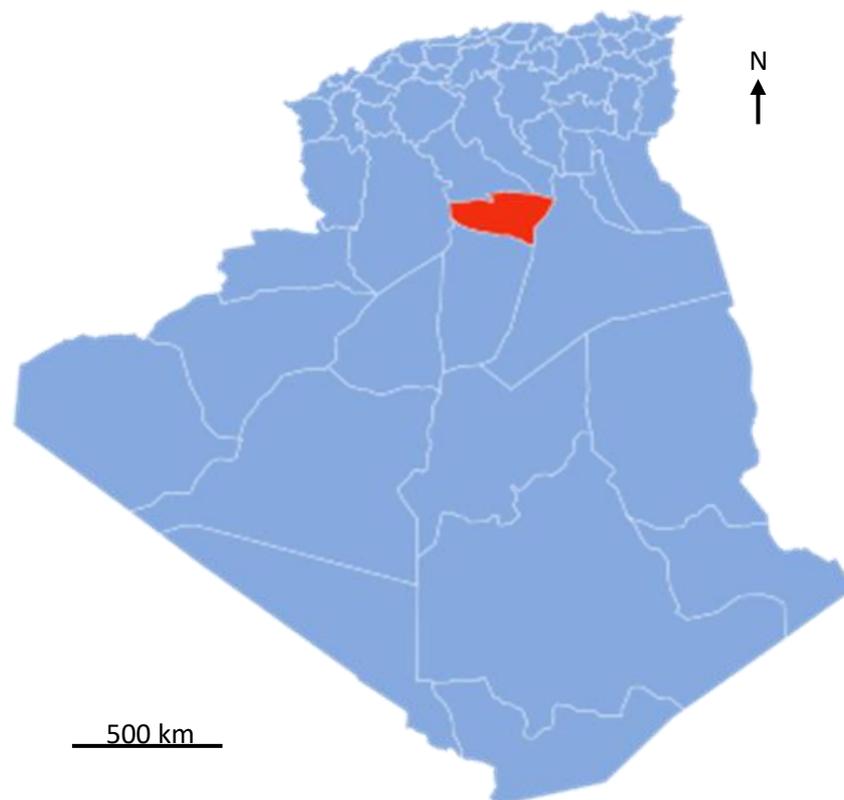


Figure 1 : Carte de l'Algérie montrant la localisation géographique de la Wilaya de Ghardaïa.

Les limites territoriales de la wilaya de Ghardaïa sont les suivantes:

Au nord : la wilaya de Laghouat (environ 200 km),

Au nord-est : la wilaya de Djelfa (environ 300 km),

À l'est : la wilaya d'Ouargla (environ 200 km),

Au sud : la wilaya d'El-Meniaa (environ 280 km),

À l'ouest : la wilaya d'El Bayadh (environ 350 km).

I.3. Organisation administrative

La wilaya de Ghardaïa est divisée en 8 daïras et 10 communes, à savoir, Ghardaïa, Berriane, Bounoura, Metlili, Dayet Ben Dahoua, El Guerrara, Zelfana, Sebseb, El-Atteuf et El-Mansoura.

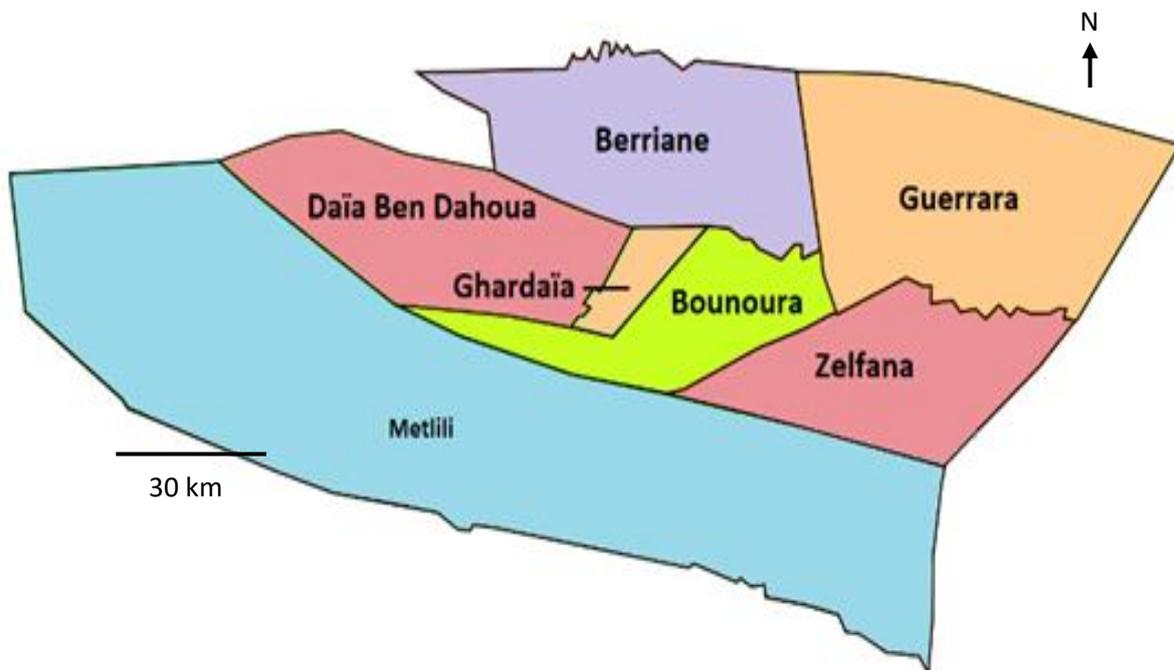


Figure 2 : Carte géographique de la Wilaya de Ghardaïa.

1.4 Hydrologie et hydrogéologie de la Région de Ghardaïa

1.4.1. Hydrologie

La nappe phréatique, relativement peu profonde, située à environ 40 mètres sous terre, est la première source d'eau accessible. Elle se recharge difficilement, car les précipitations sont faibles et souvent évaporées par la chaleur intense du désert. Pourtant, cette nappe est vitale : elle alimente les fameux puits traditionnels, ou « Hassi », qui irriguent les oasis et permettent la culture des dattiers et autres plantes adaptées à ce milieu hostile (Meddah et Ben Otmane, 2020 ; Halassa et Houni, 2021). Cependant, les rivières et oueds de la région ne coulent que rarement. Ils restent souvent à sec, mais peuvent parfois déborder lors de pluies exceptionnelles, rappelant à tous la fragilité et la puissance de la nature dans cette région (Halassa et Houni, 2021 ; Gueciouer *et al.*, 2022).

1.4.2. Hydrogéologie

Plus profondément, à près de 250 mètres, se trouve la nappe du Continental Intercalaire. Cette immense réserve d'eau fossile est une véritable bouée de sauvetage pour Ghardaïa (Hakimi *et al.*, 2019) Exploitée depuis plusieurs années, elle permet d'irriguer de vastes surfaces agricoles et d'assurer l'approvisionnement en eau potable. Les analyses chimiques montrent que ces eaux, riches en chlorures et sulfates, restent globalement de bonne qualité pour l'agriculture, même si leur minéralisation est plus élevée que dans la nappe phréatique (Guerradi *et al.*, 2018 ; Hamel et Hanichi, 2020 ; Doudou et Ouici, 2025). Cependant, cette exploitation intensive commence à faire baisser le niveau de la nappe, ce qui alerte les spécialistes sur la nécessité d'adopter une gestion plus durable et raisonnée (Guerradi *et al.*, 2018).

2. Échantillonnage de l'eau

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate qui exige une attention particulière, car il conditionne la fiabilité des résultats analytiques ainsi que leur interprétation. L'échantillon doit être homogène, représentatif du milieu étudié.

Étant donné que, dans la majorité des cas, l'analyste n'est pas le préleveur, il est essentiel que ce dernier maîtrise parfaitement les conditions et les exigences de l'échantillonnage, car elles influencent directement la qualité des résultats obtenus (Rodier *et al.*, 2009).

D'une manière générale, une organisation rigoureuse s'impose, impliquant un personnel qualifié, l'élaboration d'une méthodologie adaptée à chaque situation, le choix judicieux des points de prélèvement, ainsi que l'utilisation d'équipements appropriés. Il est important de noter que les difficultés d'interprétation des résultats proviennent plus fréquemment d'un échantillonnage inadéquat que d'erreurs analytiques proprement dites. En pratique, il convient d'éviter la constitution d'un échantillon composite s'étalant sur plus de 24 heures (Rejsek, 2002).

Dans le cadre de ce travail, 30 échantillons d'eau de ont été prélevés dans différentes communes de la wilaya de Ghardaïa. Ces échantillons, destinés à des analyses bactériologiques, ont été analysés au laboratoire de l'Algérienne des Eaux (ADE) de Ghardaïa, durant le mois d'Avril 2025.

2.1. Mode de prélèvement

Pour le prélèvement d'eau nécessaire à l'analyse bactériologique, la manipulation doit s'effectuer dans les meilleures conditions d'asepsie, pour cela les échantillons ont été prélevés dans des flacons en verre blanc de 500 ml, ont été stérilisé et contenant du thiosulfate de sodium pour neutraliser le chlore, les alentours du robinet d'échantillonnage ont été flambées avec à l'aide d'un flambeur, après l'eau est laissé couler à débit maximum pendant 1 à 2 minutes après à un débit moyen pendant 2 minutes, les flacons ont été remplis au $\frac{3}{4}$ du volume, afin de maintenir en vie les bactéries aérobies et d'assurer leur agitation avant analyse.

Une fois les prélèvements terminés, les flacons ont été étiquetées par le nom du point d'eau, ainsi que la date de prélèvement. Les échantillons ont été transportés dans une glacière isothermique contenant des poches de glace pour assurer une température optimale inférieur à 10°C et à l'obscurité pour assurer une conservation satisfaisante conformément à la norme (ISO 19458:2006).

La figure 3 montre le conditionnement des échantillons dans une glacière avec des accumulateurs de froid pour maintenir une température adéquate durant le transport.



Figure 3 : Stockage et transport d'échantillons,

2.2. Conservation des échantillons

Le processus de conservation permet de préserver l'intégrité des échantillons prélevés entre le moment de l'échantillonnage et celui de l'analyse en laboratoire. Cette étape est nécessaire car plusieurs paramètres peuvent subir des modifications physiques ou des réactions chimiques dans le récipient, ce qui altère la qualité originale de l'échantillon. Afin d'obtenir des analyses qui représentent le plus fidèlement possible les conditions du cours d'eau, une conservation physique ou chimique des échantillons doit être effectuée (Hébert et Légaré, 2000).

2.3. Choix des points de prélèvement :

Les échantillons d'eau retenue dans la présente étude sont issus de 30 points choisis aléatoirement présenté dans le tableau :

Tableau 1 : Les caractéristiques des différents points de prélèvement.

| Région | Date de prélèvement | Nombre et volume prélèvement | Taux de chlore en/mg |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Primaire Colonel Lotfi | 06/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0,2 |
| 2. Primaire Annas Ben Malek | 06/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0,2 |
| 3. Poly Clinique Ben Ghanem | 06/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0,2 |
| 4. Forage Boubrik | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 5. Forage Chaaba Hamhra | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 6. Forage Oum Djar | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 7. Forage Sidi Aek | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 8. Forage Taouillon | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 9. Forage Laariche | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 10. Fourage Chaabet Teli | 07/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 11. Forage Chaabet Bakka | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 12. Forage Bendjabline | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 13. Château Bendjabline | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 14. Forage Salouha | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 15. Château Salouha | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 16. Forage Belganem | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 17. Château Belghanem | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 18. Forage Touzouz 02 | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |

Tableau 1. (Suite)

| Région | Date de prélèvement | Nombre et volume de prélèvement | Taux de chlore en/mg |
|--|---------------------|---------------------------------|----------------------|
| 19. Château Touzouz 02 | 13/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0,2 |
| 20. Forage Touzouz 03 | 20/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 21. Forage Akhalkhal | 20/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 22. Fourage Chaasbet Nichane | 20/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 23. Forage Bouchemdjane | 20/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0 |
| 24. Château Bouchemdjane | 20/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.2 |
| 25. Theniet El Makhzen Magasin | 26/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.4 |
| 26. Theniet El Belli Hamza | 26/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.4 |
| 27. Theniet El Makhzen Mousquée | 26/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.4 |
| 28. Theniet El Makhzen Belli Hamza | 26/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.3 |
| 29. Theniet El Makhzen Parc | 26/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.3 |
| 30. Theniet El Makhzen Salle De Soins Dr. Amini | 26/04/2025 | 1 flacon de 500 ml | 0.3 |

Les points d'échantillonnage sont présentés dans le tableau 1 et dans la figure 4 sous forme d'une carte géographique.



Figure 4 : Représentation géographique montrant les différents points d'échantillonnage dans la wilaya de Ghardaïa.

3. Les paramètres d'analyse d'eau

Les analyses ont été réalisées au sein du laboratoire d'Algérienne Des Eaux (A.D.E) de Ghardaïa, Les paramètres analysés sont regroupés dans le tableau 2 ci-dessous selon leur nature (physiques, chimiques et bactériologiques).

Tableau 2 : les paramètres d'analyse d'eau adoptés par l'ADE-Ghardaïa.

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

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes limités à l'analyse microbiologique de l'eau. Les paramètres physico-chimiques, bien qu'importants, n'ont pas été pris en charge afin de concentrer nos efforts sur l'aspect bactériologique uniquement.

3.1. Recherche et dénombrement des Coliformes Totaux (CT) et coliformes thermotolérants (CF)

La recherche et le dénombrement des coliformes totaux (CT) et coliformes thermotolérants (CF) ont été réalisés selon les étapes suivantes :

Au début, les entonnoirs et les postes de la rampe de filtration ont été stérilisés avec un flambeau puis refroidis par de l'eau distillée stérile. Des membranes de 0,45µm de porosité ont été installées de manière aseptique entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérilisée avec un bec Bunsen. Les entonnoirs ont été remplis de manière stérile avec 100 ml d'eau de l'échantillon à analyser, puis la pompe à vide a été activée pour permettre à l'eau de traverser les membranes. Les membranes ont été extraites avec une pince stérile et placées sur la surface d'une boîte de pétrie ayant de la gélose TTC Tergitol. Les boîtes ont été incubées à 37°C pendant 24 à 48 heures et seront utilisées pour le dénombrement des Coliformes Totaux (CT). (ISO 9308-1, 2000).

Lecture

Après la période d'incubation on observe des colonies jaune orangé avec rond opaque et acidification de milieu on dessous de ces colonies (virage de couleur de la gélose vers le jaune à cause de présence de l'indicateur de pH BBT)

Etape de l'enrichissement

La colonie typique est ensemencé sur la gélose Trypticase soja agar (TSA) par la méthode des quatre quadrants et incubées à 37°C durant 24 h, après la culture on observe des colonies crémeuses de couleur blanches Les colonies caractéristiques ont été transférées séparément dans un tube contenant de bouillon au tryptophane, la colonie a été bien triturée dans le milieu, puis ce dernier a été incubé à 44°C pendant 24 heures.

Tests confirmatifs

- **Pour les Coliformes Totaux (CT)**

Test oxydase

Le test de l'oxydase a été réalisé selon la méthode décrite par Chavan *et al.* (2022) en utilisant un disque imprégné de tétraméthyl-p-phénylènediamine. à été imbibé avec une goutte

d'eau distillée stérile Après déposant une colonie typique. Une réaction positive est immédiate et se traduit par l'apparition d'une couleur violette dans les 10 secondes qui suivent.

- **Pour les Coliformes thermaux tolérant (fécaux)**

Test de production d'indole

Il a été effectuée par l'ajout de 2 à 3 gouttes de réactif de Kovacs. La présence d'une anneau rouge cerise à la surface du bouillon traduit la production d'indole à partir de tryptophane présent dans le milieu.

Interprétation des tests de confirmation

- Toutes les colonies typiques montrant une réaction négative à l'oxydase sont classées comme des bactéries coliformes.
- Toutes les colonies typiques montrant une réaction négative à l'oxydase mais positive à l'indole sont classées comme *Escherichia coli*.

La figure 5 montre le protocole de recherche et de dénombrement des coliformes totaux par filtration sur membrane.

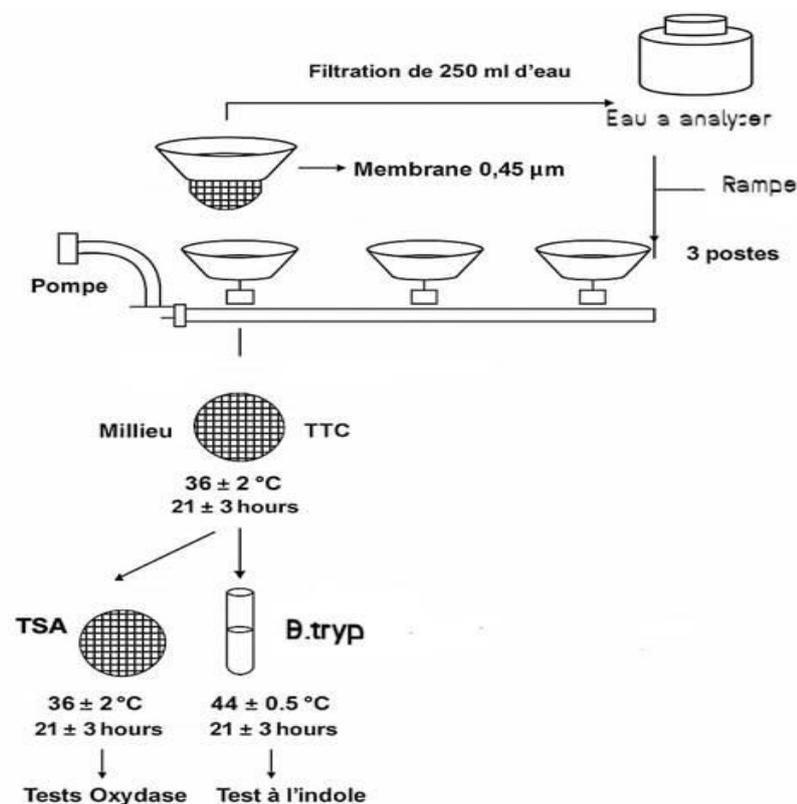


Figure 5 : La recherche et le dénombrement des coliformes totaux et fécaux par filtration sur membrane.

3.2. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

La recherche et le dénombrement des streptocoques fécaux se fait par deux tests :

- Le test présomptif sur le milieu solide SLANETZ et BARTLEY.
- Le test confirmatif sur le milieu BEA (ISO 7899-2, 2000).

Le test présomptif sur le milieu solide SLANETZ et BARTLEY

La première étape (La filtration) est identique à celui des coliformes, 100 ml d'eau à analyser a été filtrée aseptiquement sur une membrane de 0,45µm de porosité. La membrane a été déposée sur la gélose de SLANETZ et BARTLEY les boites ont été incubée 37°C durant 48h.

Après la durée d'incubation les streptocoques du groupe D, apparaissent sous forme de petites colonies légèrement bombée à contour régulier et pigmenté en rouge brique, marron ou rose.

Le test confirmatif sur le milieu B.E.A

La membrane du milieu SLANETZ et BARTLEY a été transféré aseptiquement sur une plaque de gélose Bile Esculine Azoture (BEA), préchauffé à 44 °C cette dernière a été incubé à son tour à 44°C durant 2h. Les colonies caractéristiques prennent une coloration noire traduisant ainsi l'hydrolyse de l'esculine présente dans le milieu.

Test catalase

Le test de la catalase a été effectué conformément à la méthode de Taylor et Achanzar (1972), en ajoutant quelques gouttes de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂ à 3 %) sur les colonies typiques, L'apparition immédiate de bulles d'oxygène a confirmé un résultat positif. et négatif dans le cas d'absence de bulles d'oxygène. Tout colonie présente un catalase négatif est considéré comme des streptocoque groupe D.

La figure 6 montre le protocole de recherche et de dénombrement des entérocoques intestinaux (streptocoques fécaux) par filtration sur membrane.

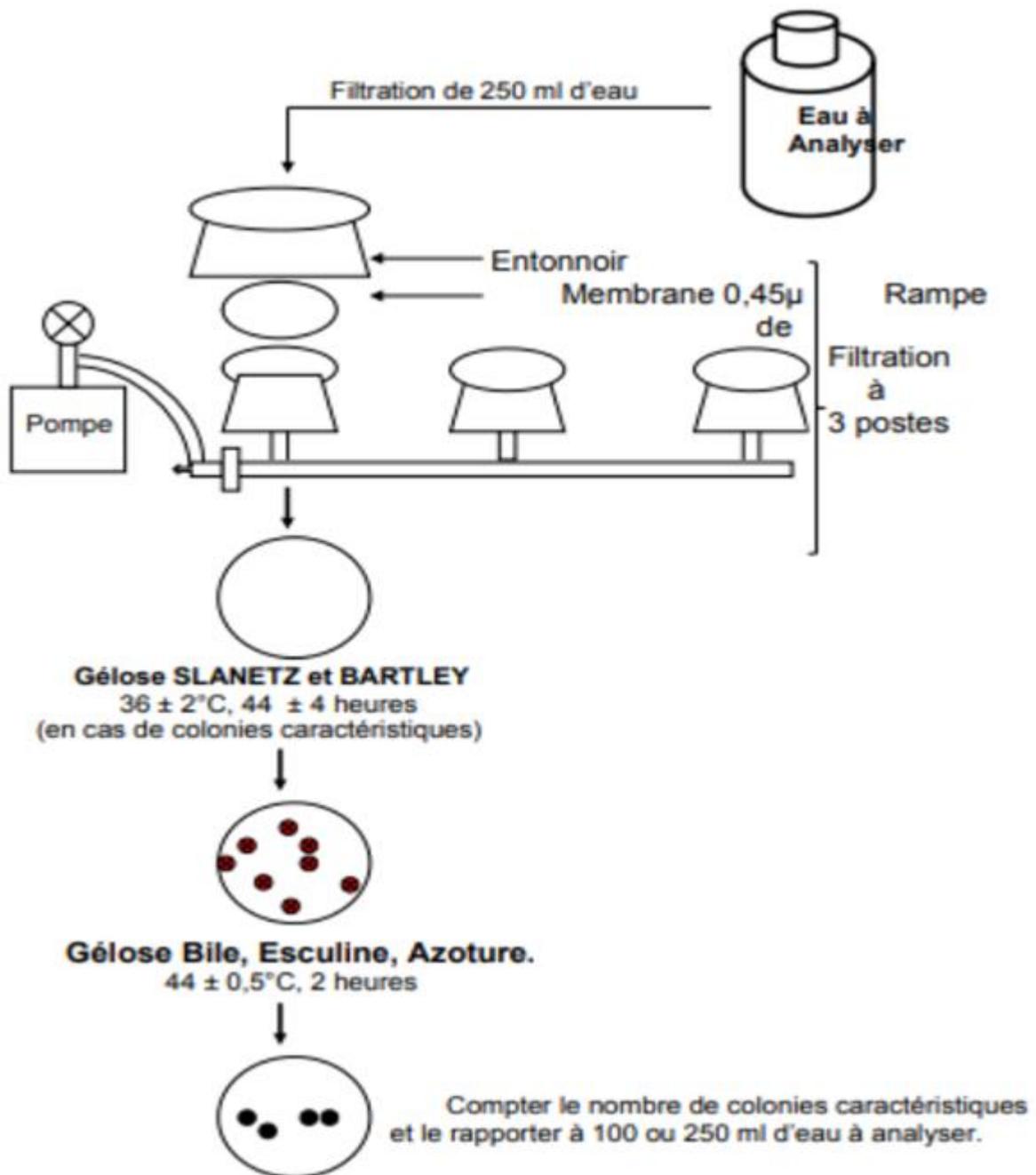


Figure 6 :La recherche et le dénombrement des entérocoques intestinaux (les streptocoques fécaux)

3.3. Recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs

Avant la filtration des échantillons d'eau, un choc thermique est appliqué pour la neutralisation des formes végétatives est obligatoire, pour cette raison le flacon contenant l'échantillon d'eau à analyser, a été maintenu dans un bain mari à 80°C durant 10min, puis refroidit immédiatement sous l'eau de robinet.

Ensuite 100 ml de cet échantillon d'eau a été filtré sur une membrane stérile de 0.22µm de porosité, puis a été déposé sur la boîte de pétri, de façon que la face quadrillée adhère au fond de la boîte tout en évitant les bulles d'air sous le filtre afin d'assurer les conditions anaérobies, par la suite environ 18 ml de gélose viande foie VF (Annexe), fondue et refroidie, a été ajouté. L'incubation a été effectuée à 37°C pendant 48 heures (ISO 6461-2, 1993).

Lectures et interprétation des résultats

La 1^{ère} lecture a été faite après 24 h et la 2^{ème} après 48h, toute colonie noire est considérée comme résultat de la germination des spores de la bactérie anaérobie sulfito-réductrice.

La figure 7 montre le protocole de recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs par filtration sur membrane.

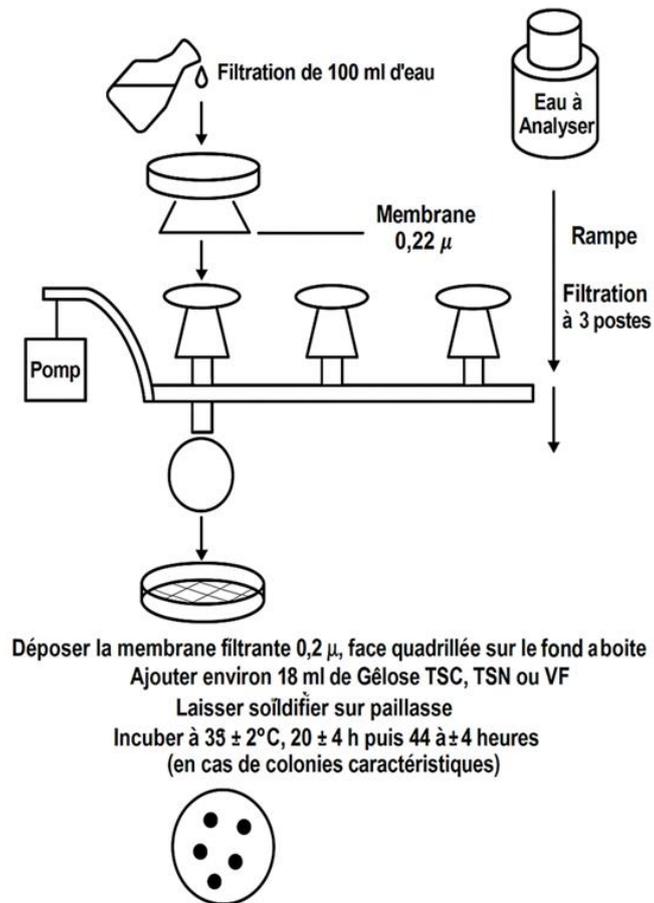


Figure 7 : La recherche et dénombrement des Clostridium-sulfito-réducteurs par filtration sur membrane.

RESULTATS

Résultats

Afin d'évaluer la qualité microbiologique de l'eau, 30 échantillons ont été prélevés sur différents sites et analysés en laboratoire d'ADE. Les paramètres microbiologiques recherchés incluent les coliformes totaux (CT), *Escherichia coli* (*E. coli*), les streptocoques fécaux (SF) et les spores des anaérobies sulfite-réducteurs (A.S.R.). Le tableau 3 ci-dessous présente les résultats obtenus pour chaque site échantillonné.

Tableau 3 : Les résultats des analyses microbiologiques des échantillons prélevés.

| Code de l'échantillon | Site | Volume prélevé | CT | <i>E. coli</i> | SF | Spores ASR |
|-----------------------|-----------------------------|----------------|----|----------------|----|------------|
| 1291 | primaire colonel lotfi | 1(500ml) | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1294 | primaire annas ben malek | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1297 | poly clinique ben ghanem | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1322 | forage boubrik | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1323 | forage chaaba hamhra | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1324 | forage oum djdar | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1325 | forage sidi aek | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1326 | forage taouillon | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1327 | forage laariche | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1408 | fourage chaabet teli | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1409 | forage chaabet bakka | 1(500ml) | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 1410 | forage bendjabline | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1411 | château bendjabline | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1412 | forage salouha | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1413 | château salouha | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1414 | forage belganem | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1415 | château belghanem | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1416 | forage touzouz 02 | 1(500ml) | 30 | 5 | 80 | 0 |
| 1417 | château touzouz 02 | 1(500ml) | 0 | 0 | 90 | 0 |
| 1514 | forage touzouz 03 | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1515 | forage akhalkhal | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1517 | fourage chaabet nichane | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1522 | forage bouchemdjane | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1523 | château bouchemdjane | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1670 | Theniet El Makhzen magasin | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1671 | Theniet El belli hamza | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1672 | Theniet El Makhzen mousquée | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tableau 4 (suite)

| Code de l'échantillon | Site | Volume prélevé | CT | <i>E. coli</i> | SF | Spores ASR |
|-----------------------|--|----------------|----|----------------|----|------------|
| 1673 | Theniet El Makhzen belli hamza | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1674 | Theniet El Makhzen parc | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1675 | Theniet El Makhzen salle de soins dr.amini | 1(500ml) | 0 | 0 | 0 | 0 |

CT : coliformes totaux ; SF : Streptocoques fécaux ; A. S. R. : anaérobies sulfito-réducteurs.

1. Conformité aux normes réglementaires algériennes

L'analyse de la conformité des échantillons vis-à-vis des normes algériennes de potabilité (fixant un seuil de 0 UFC/100ml pour *E. coli* et les streptocoques fécaux, et 0 UFC/20ml pour les spores ASR) révèle une situation hétérogène pour les indicateurs de contamination fécale récente.

1.1. Coliformes Totaux

L'évaluation des coliformes totaux a été réalisée sur les 30 échantillons. En considérant un seuil de conformité de 0 UFC/100ml, l'analyse révèle un taux de conformité élevé. Sur les 30 échantillons analysés, 28 (soit 93,3%) ont été caractérisés par l'absence de coliformes totaux (valeur = 0 UFC/100ml) et sont donc considérés comme conformes pour ce paramètre. Seuls 2 échantillons (soit 6,7%) ont présenté des résultats positifs quantifiables (2 UFC/100 ml et 30 UFC/100 ml), indiquant une non-conformité (Figure 8, 9).

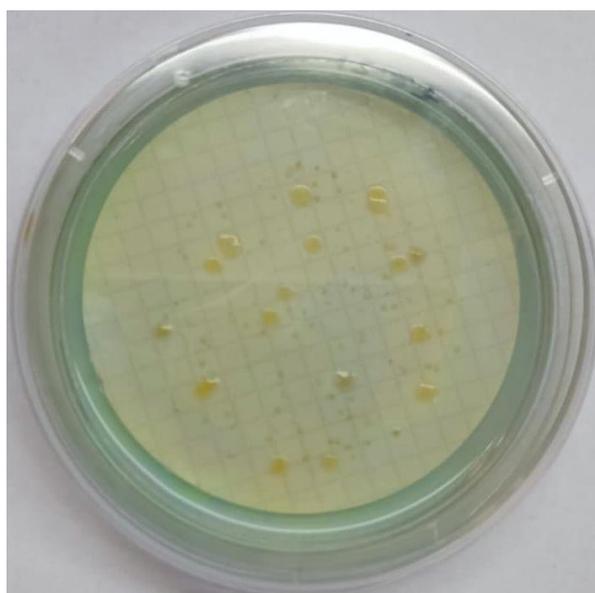


Figure 8 : Figure montre un résultat positif pour les coliformes totaux.

Le taux de conformité global pour les coliformes totaux est donc de 93,3% (Figure 9).

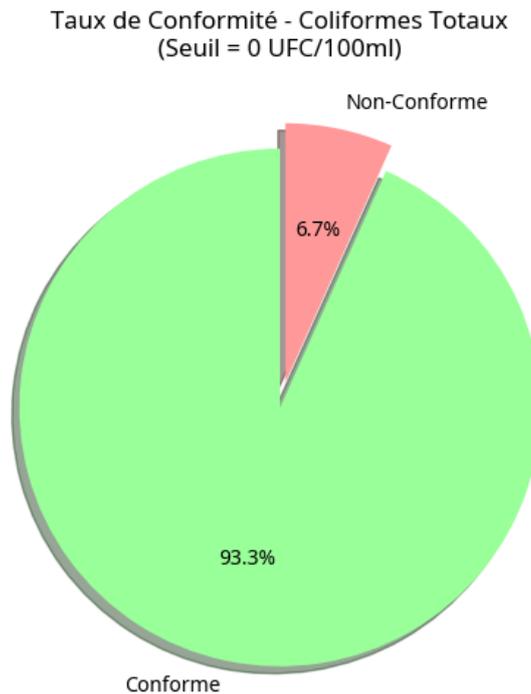


Figure 9 : Taux de conformité des coliformes totaux.

1.2. *Escherichia coli*

Sur les 30 échantillons analysés, 28 se sont avérés conformes à la norme d'absence totale d'*E.coli*. Cependant, deux échantillons (soit 6,7% de l'effectif total) ont présenté une non-conformité, avec des concentrations détectées de 2 UFC/100 ml et 5 UFC/100 ml, respectivement.



Figure 10 : Photo montrant le test oxydase négatif.

Ce test a été réalisé dans le but de vérifier la présence de l'enzyme cytochrome oxydase chez les bactéries isolées. Le résultat négatif, indiqué par l'absence de coloration violette sur le disque, le résultat est cohérent avec les caractéristiques d'*E. coli*, qui est une bactérie oxydase-négative.



Figure 11 : Figure montrant un résultat positif pour *E. coli* (réaction de Kovac)

Le taux de conformité global pour ce paramètre s'établit donc à 93,3%.

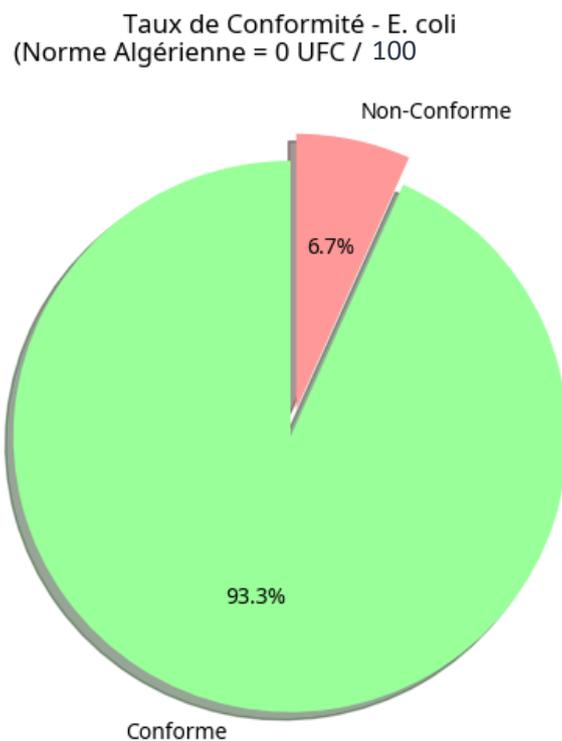


Figure 12 : Taux de conformité pour *E. coli*

1.3. Streptocoques Fécaux (SF)

Concernant les streptocoques fécaux, 27 échantillons sur 30 respectaient la norme d'absence. Toutefois, 3 échantillons (soit 10,0% de l'effectif) ont été déclarés non conformes. Les concentrations mesurées dans ces échantillons positifs étaient de 1 UFC/ 100 ml, 80 UFC/100 ml et 90 UFC/100 ml.

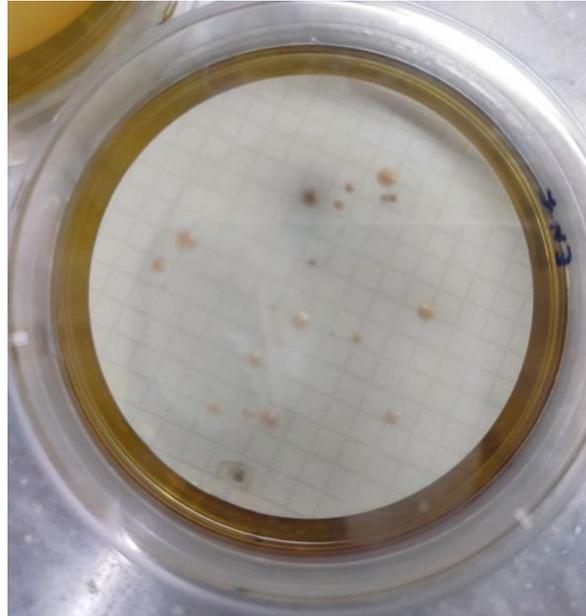


Figure 13 : Figure présente un résultat positif pour les streptocoques fécaux .

Le taux de conformité global pour cet indicateur est de 90,0%.

Taux de Conformité - Streptocoques Fécaux
(Norme Algérienne = 0 UFC / 100)

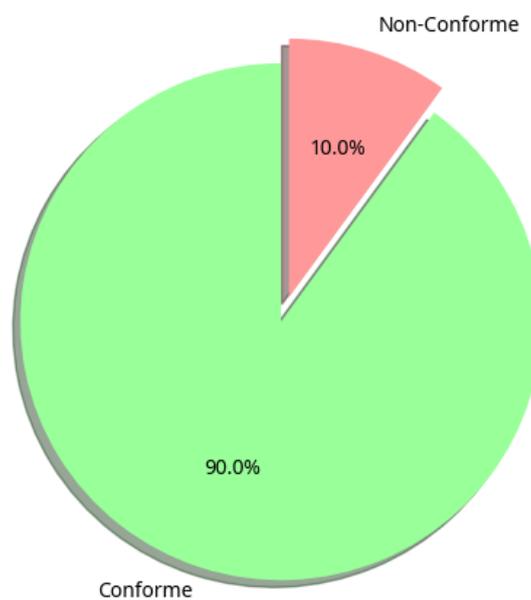


Figure 14 : Taux de conformité pour le groupe des streptocoques fécaux.

1.4. Spores de Micro-organismes Anaérobies Sulfito-Réducteurs (Spores ASR)

L'analyse des spores ASR a montré une conformité totale pour l'ensemble des 30 échantillons. Aucune spore n'a été détectée (Figure 15).

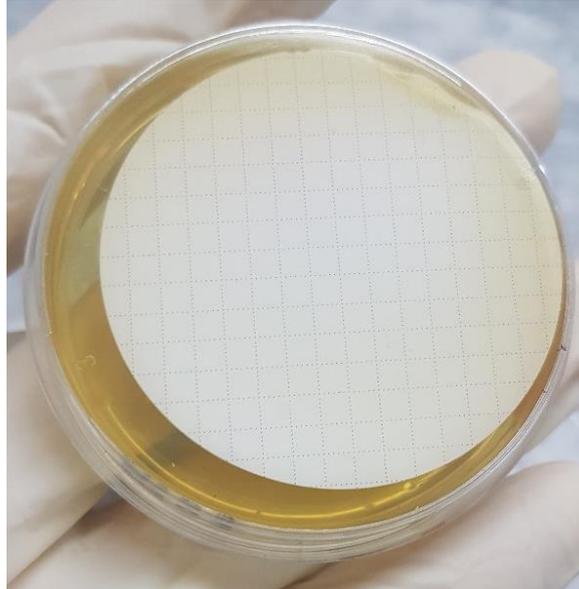


Figure 15 : Figure montre une résultat négatif pour les spores des clostridium sulfito-réducteurs

Le taux de conformité correspondant est de 100% .

Taux de Conformité - Spores A.S.R
(Norme Algérienne = 0 UFC / 20

Non-Conforme

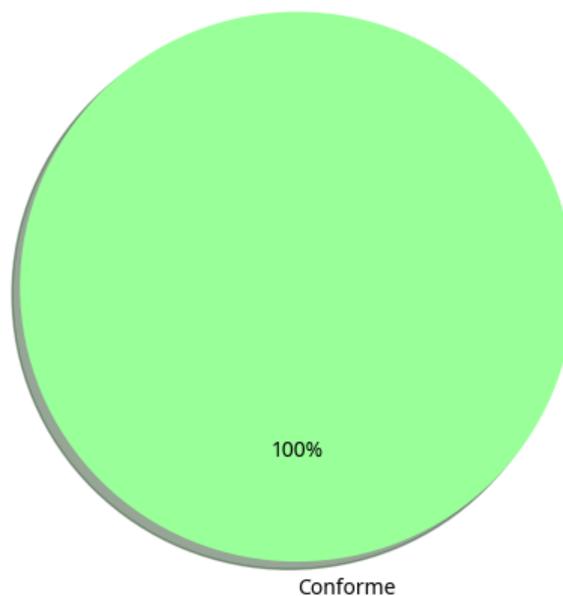


Figure 16 : Taux de conformité des spores des anaérobies clostridium sulfito-réducteurs.

2. Analyse Comparative par Zone Géographique

L'analyse des résultats par zone géographique révèle des disparités significatives dans la qualité microbiologique des eaux échantillonnées à travers la wilaya de Ghardaïa. Pour faciliter cette analyse comparative, les 30 points de prélèvement ont été regroupés en quatre zones distinctes: Zone Urbaine (Établissements), Zone de Forage, Zone de Distribution (Châteaux d'eau) et Zone Theniet El Makhzen (Figure 17).

2.1. Taux de Conformité par Zone Géographique

La Figure 17 présente les taux de conformité pour chaque paramètre microbiologique selon les différentes zones géographiques étudiées.

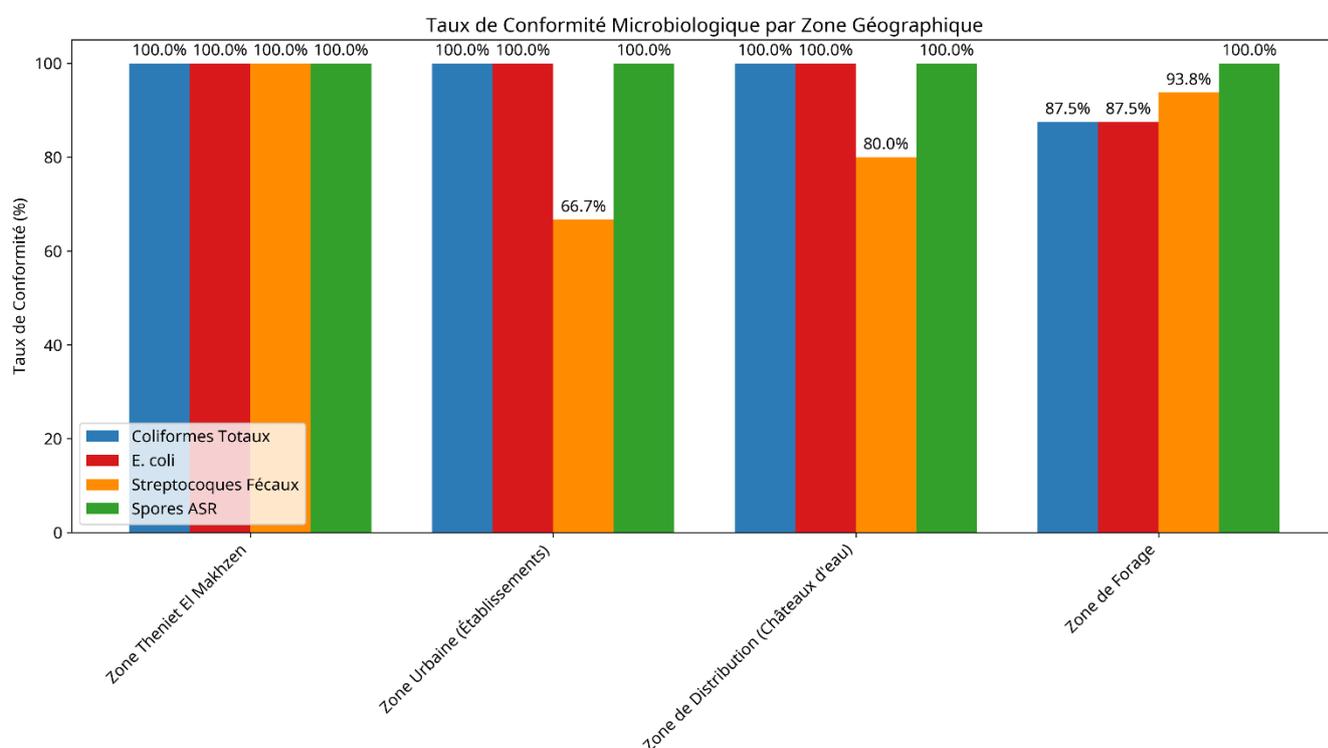


Figure 17 : Taux de conformité microbiologique par zone géographique.

L'analyse comparative des taux de conformité révèle plusieurs observations importantes :

- **Zone Theniet El Makhzen** : Cette zone présente une conformité parfaite (100%) pour tous les paramètres microbiologiques analysés. Les six points de prélèvement de cette zone ne montrent aucune contamination, ce qui témoigne d'une excellente qualité microbiologique de l'eau dans ce secteur.
- **Zone Urbaine (Établissements)** : Si les coliformes totaux, *E. coli* et les spores ASR affichent un taux de conformité de 100%, on note une non-conformité significative pour les

streptocoques fécaux avec un taux de conformité de seulement 66,7%. Cette observation est particulièrement importante car elle concerne des établissements recevant du public (écoles, cliniques).

- **Zone de Distribution (Châteaux d'eau)** : Cette zone présente également une conformité totale pour les coliformes totaux, *E. coli* et les spores ASR. Cependant, le taux de conformité pour les streptocoques fécaux chute à 80%, indiquant une contamination potentielle dans le système de distribution.

- **Zone de Forage** : C'est la zone qui présente les taux de conformité les plus faibles, avec 87,5% pour les coliformes totaux et *E. coli*, et 93,8% pour les streptocoques fécaux. Cette zone, qui comprend le plus grand nombre d'échantillons (16), montre des signes de contamination plus fréquents et diversifiés que les autres zones.

2.2. Intensité de la Contamination par Zone

La Figure 18 illustre les valeurs maximales de contamination observées pour chaque Paramètre microbiologique selon les zones géographiques.

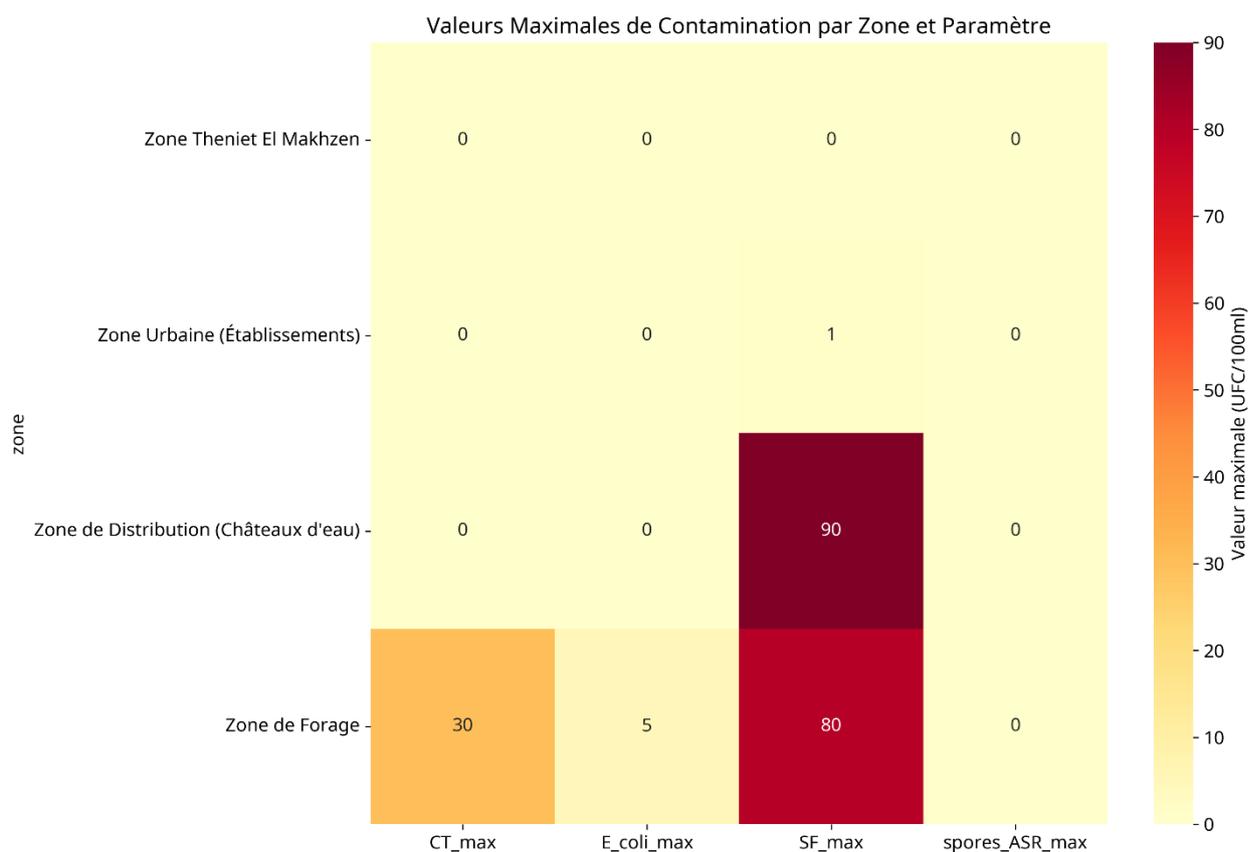


Figure 18 : Valeurs maximales de contamination par zone et paramètre.

Cette analyse de l'intensité de la contamination révèle des différences marquées entre les zones:

- **Zone de Forage** : Cette zone présente les contaminations les plus diversifiées, avec des valeurs maximales de 30 UFC/100ml pour les coliformes totaux, 5 UFC/100ml pour *E.coli* et 80 UFC/100ml pour les streptocoques fécaux. C'est la seule zone où tous les types de contamination (à l'exception des spores ASR) sont présents simultanément.
- **Zone de Distribution (Châteaux d'eau)** : Bien que cette zone ne présente pas de contamination par les coliformes totaux ou *E. coli*, elle affiche la valeur la plus élevée pour les streptocoques fécaux (90 UFC/100ml), ce qui suggère une contamination potentiellement ancienne dans le système de distribution.
- **Zone Urbaine (Établissements)** : La contamination dans cette zone est limitée aux streptocoques fécaux, avec une valeur maximale modérée de 1 UFC/100ml.
- **Zone Theniet El Makhzen** : Aucune contamination n'a été détectée dans cette zone, quelle que soit le paramètre microbiologique considéré.

2.3. Points spécifiques de contamination

L'analyse détaillée des points de prélèvement a permis d'identifier quatre sites présentant des non-conformités microbiologiques (Tableau 4).

Tableau 5 : Points de Prélèvement Présentant des Contaminations Microbiologiques

| Région | Zone | CT (UFC/100ml) | <i>E. coli</i> (UFC/100ml) | SF (UFC/100ml) | Spores ASR (UFC/20ml) |
|-----------------------------|--|-------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| primaire clonel lotfi | Zone Urbaine (Établissements) | 0 | 0 | 1 | 0 |
| forage chaabet bakka | Zone de Forage | 2 | 2 | 0 | 0 |
| forage touzouz 02 | Zone de Forage | 30 | 5 | 80 | 0 |
| château touzouz 02 | Zone de Distribution (Châteaux d'eau) | 0 | 0 | 90 | 0 |

CT : coliformes totaux / SF : streptocoques fécaux / ASR : anaérobies sulfito-réducteurs.

Ces résultats mettent en évidence plusieurs observations critiques :

- **Contamination multiple à Touzouz** : La région de Touzouz présente les contaminations les plus préoccupantes, avec des valeurs élevées tant au niveau du forage (1416) que du château d'eau associé (1417). Cette situation suggère une contamination à la source qui se propage dans le système de distribution.
- **Contamination fécale récente à Chaabet Bakka** : Le forage de Chaabet Bakka (1409) présente une contamination par *E. coli* (2 UFC/100ml), indicateur d'une pollution fécale récente, ce qui nécessite une attention particulière.
- **Contamination isolée en zone urbaine** : L'école primaire Colonel Lotfi (1291) présente une contamination légère mais significative par les streptocoques fécaux (1 UFC/100ml), ce qui est préoccupant dans un établissement accueillant des enfants.

2.4. Synthèse des résultats par zone

Le Tableau 5 présente une synthèse des résultats microbiologiques par zone géographique, incluant le nombre d'échantillons, les taux de conformité et les valeurs maximales pour chaque paramètre.

Tableau 6 : Synthèse des Résultats Microbiologiques par Zone Géographique

| Zone | N - d'échanti- llons | CT - T de C (%) | CT -V max | <i>E.</i> <i>coli</i> - T de C (%) | <i>E.</i> <i>coli</i> - V max | SF- T de C (%) | SF- V max | Spores ASR- T de C (%) | ASR- Vmax |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------|--|--|----------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------|
| Zone Theniet El Makhzen | 6 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 | 100 | 0 |
| Zone Urbaine (Établissements) | 3 | 100 | 0 | 100 | 0 | 66.7 | 1 | 100 | 0 |
| Zone de Distribution (Châteaux d'eau) | 5 | 100 | 0 | 100 | 0 | 80 | 90 | 100 | 0 |
| Zone de Forage | 16 | 87.5 | 30 | 87.5 | 5 | 93.8 | 80 | 100 | 0 |

Vmax: Valeur max / **T de C** : Taux de conformité (%) / **N**: Nombre / **CT** : coliformes totaux / **SF** : streptocoques fécaux / **ASR** : anaérobies sulfito-réducteurs.

Cette synthèse met en évidence plusieurs tendances importantes :

- **Gradient de qualité microbiologique** : On observe un gradient de qualité décroissant depuis la Zone Theniet El Makhzen (excellente qualité) vers la Zone de Forage (qualité plus variable).

- **Vulnérabilité des forages** : Les points de forage apparaissent comme les plus vulnérables aux contaminations microbiologiques, avec les taux de conformité les plus faibles pour tous les paramètres.

- **Problématique des streptocoques fécaux** : Ce paramètre présente les taux de conformité les plus faibles dans trois des quatre zones étudiées, suggérant une problématique persistante de contamination fécale ancienne.

- **Absence de contamination par les spores ASR** : Tous les échantillons sont conformes pour ce paramètre, indiquant l'absence de contamination fécale profonde ou historique.

DISCUSSION

Discussion

L'accès à une eau potable de qualité représente un enjeu crucial pour la santé publique, en particulier dans les zones arides telles que la wilaya de Ghardaïa. Dans ce contexte, notre étude s'est inscrite dans une problématique bien définie : évaluer la qualité microbiologique des eaux potables distribuées dans cette région, où les ressources en eau sont essentiellement issues de forages souterrains. Ces eaux, bien que naturellement protégées par des couches géologiques, ne sont pas à l'abri de contaminations d'origine anthropique, notamment fécales.

L'objectif principal de cette étude a été de mesurer la conformité de ces eaux aux normes bactériologiques algériennes, à travers l'analyse de paramètres clés tels que les coliformes totaux, *Escherichia coli*, les streptocoques fécaux et les spores d'anaérobies sulfite-réducteurs.

L'évaluation des qualités microbiologiques des eaux potables de la région de Ghardaïa, basée sur l'analyse de 30 échantillons, révèle une situation contrastée qui nécessite une discussion approfondie au regard des impératifs de santé publique et des référentiels réglementaires algériens. Si certains indicateurs témoignent d'une bonne protection de la ressource, d'autres soulèvent des préoccupations quant à la présence de contaminations fécales.

Dans la présente étude, les taux de conformité observés sont globalement élevés : 93,3 % pour les coliformes totaux et *E. coli*, 90,0 % pour les streptocoques fécaux, et 100 % pour les spores ASR. Ces résultats montrent que la majorité des points de prélèvement respectent les normes algériennes, bien que des cas isolés de contamination ont été observés, notamment au niveau du forage Touzouz 02 et du château d'eau associé. Ces cas indiquent des épisodes de contamination récente,

Ces résultats sont à comparer avec d'autres travaux menés dans la même région. Une étude menée sur le forage de Baba Saad (2013) a montré une eau exempte de toute contamination microbiologique. L'absence de coliformes et de streptocoques fécaux dans ce forage profond indique une bonne protection naturelle et un captage bien sécurisé. Cela corrobore certains de nos résultats où plusieurs forages analysés étaient parfaitement conformes. (Bensalem et Bendjamaa, 2013)

De même, une étude comparative entre le puits de Daïa (Ghardaïa) et celui de Si Abdelghani (Tiaret), réalisée en 2020, a révélé une absence totale de germes pathogènes dans le puits de Daïa. L'eau était conforme sur les plans physico-chimiques et bactériologiques, ce

qui confirme que certains forages de Ghardaïa, bien conçus et bien entretenus, peuvent fournir une eau potable sans risque sanitaire. (Bouziane et Halilat, 2020)

En revanche, une étude réalisée en 2015 dans la commune de Sebseb (Ghardaïa) a dressé un tableau plus préoccupant. Sur 30 puits analysés, la majorité présentait des indicateurs de contamination fécale : coliformes totaux, *E. coli*, streptocoques fécaux et spores sulfito-réducteurs. Les auteurs ont conclu que ces eaux étaient impropres à la consommation, soulignant une contamination généralisée dans cette zone. Cette différence marquée avec nos résultats indique une forte variabilité locale dans la qualité microbiologique des eaux souterraines à Ghardaïa (Guessoum *et al.*, 2015).

Ainsi, notre étude, avec un taux de conformité supérieur à 90 % sur tous les indicateurs, s'inscrit dans une tendance globalement favorable, tout en mettant en évidence des disparités intra-régionales. Elle rejoint les constats des études menées à Baba Saad et Daïa, tout en alertant sur les risques identifiés à Sebseb. Cette hétérogénéité souligne l'importance d'une gestion différenciée et d'une surveillance accrue, en particulier dans les zones identifiées comme vulnérables. Il serait pertinent de renforcer les dispositifs de désinfection, d'améliorer la protection des forages, et de mettre en place une politique de suivi régulier, adaptée aux réalités spécifiques de chaque secteur de la wilaya.

L'analyse par zone géographique a permis de constater des différences notables. Ainsi, la zone de Theniet El Makhzen s'est révélée parfaitement conforme sur tous les paramètres microbiologiques, ce qui suggère une protection efficace de la ressource et un bon entretien des installations. En revanche, la zone de forage, notamment au niveau de Touzouz 02, a présenté des cas de contamination par *E. coli* et streptocoques fécaux, traduisant une vulnérabilité possible du captage ou une exposition aux infiltrations fécales. De même, le château d'eau associé a montré des signes de contamination persistante. Enfin, la zone urbaine, bien que généralement conforme, a révélé une faible présence de streptocoques fécaux dans un établissement scolaire, soulignant l'importance d'un suivi sanitaire renforcé dans les lieux accueillant du public sensible.

Au final, les résultats de cette étude témoignent d'un bon niveau de sécurité microbiologique de l'eau potable dans plusieurs zones de Ghardaïa, mais confirment également la nécessité d'une vigilance permanente. Une attention particulière doit être portée aux forages

contaminés pour éviter la propagation de maladies hydriques, surtout dans un contexte climatique difficile où la ressource en eau est précieuse et vulnérable.

CONCLUSION

Conclusion

La présente étude, portant sur l'évaluation de la qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine dans la wilaya de Ghardaïa, a permis de dresser un état des lieux détaillé de la situation sanitaire de cette ressource essentielle.

L'analyse des 30 échantillons prélevés à partir de différents endroits localisés dans différentes communes de la région, réalisée selon les protocoles standardisés de l'Algérienne Des Eaux (ADE), révèle une qualité microbiologique globalement satisfaisante mais présentant des non-conformités ponctuelles significatives. Si la totalité des échantillons (100%) est conforme aux normes algériennes concernant les spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs, des taux de non-conformité de 6,7% pour *Escherichia coli* et de 10,0% pour les streptocoques fécaux ont été observés. Le taux de conformité pour les coliformes totaux est également élevé (93,3%). Ces résultats indiquent une vulnérabilité limitée mais réelle de certains forages à des contaminations d'origine fécale. La présence d'indicateurs de contamination fécale récente (*E. coli*) et plus persistante (streptocoques fécaux) dans certains échantillons souligne la nécessité d'une vigilance accrue et d'actions correctives ciblées. Les concentrations parfois élevées de streptocoques fécaux (jusqu'à 90 UFC/100ml) constituent un signal d'alerte particulier qui justifie des investigations complémentaires sur les sites concernés.

En conclusion, si la qualité microbiologique des eaux potables dans la région de Ghardaïa peut être considérée comme globalement satisfaisante, les non-conformités identifiées appellent à une gestion proactive et ciblée pour garantir la sécurité sanitaire de cette ressource vitale. Cette étude constitue ainsi une base scientifique solide pour orienter les décisions des gestionnaires de l'eau et contribuer à l'amélioration durable de l'accès à une eau potable de qualité dans cette région d'Algérie.

A la lumière des résultats et les constatations soulevées dans ce travail, plusieurs recommandations peuvent être formulées pour améliorer la gestion de la qualité microbiologique des eaux dans la région :

- Renforcement du suivi : Augmenter la fréquence d'échantillonnage pour présenter des non-conformités et étendre le monitoring à d'autres saisons pour évaluer les variations temporelles.
- Protection des captages : Réviser et renforcer les périmètres de protection des forages, particulièrement dans les zones où des contaminations fécales ont été détectées.

- Optimisation des traitements : Évaluer et ajuster les procédés de désinfection appliqués, notamment pour les points d'eau présentant des contaminations récurrentes.
- Approche intégrée : Compléter les analyses microbiologiques par des paramètres physico-chimiques et une caractérisation hydrogéologique des sites pour mieux comprendre les mécanismes de contamination.
- Formation et sensibilisation : Renforcer les compétences des opérateurs locaux en matière de prélèvement, d'analyse et d'interprétation des résultats microbiologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- **Aissaoui, A.** (2013). Évaluation du niveau de contamination des eaux de barrage Hammam Grouz de la région d'Oued Athmania (Wilaya de Mila) par les activités agricoles [Thèse de magister en biologie, spécialité Écologie végétale appliquée et gestion de l'environnement].
- **Aouissi, A.** (2010). Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (nord-est de l'Algérie) [Mémoire de magister, 141 p.].
- **Atlas.** (2004). Agricultures de la wilaya de Ghardaïa. Ed. D.S.A. (22 p.).
- **Bensalem, M., & Bendjamaa, S.** (2013). Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau du forage de BABA SAAD dans la commune de Ghardaïa [Mémoire de licence, Université de Ghardaïa].
- **Bonnefoy, C., et al.** (2002). Microbiologie et qualité dans l'industrie agroalimentaire. CRDP d'Aquitaine, Paris, p. 101.
- **Bouziane, M. & Halilat, M. T.** (2020). Étude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique entre eau de puits de Si Abdelghani (Tiaret) et puits de Daïa (Ghardaïa) [Mémoire de master, Université de Ghardaïa].
- **Carip, C.** (2008). Microbiologie Hygiène – Bases microbiologiques de la diététique. TEC & DOC/Médicales Internationales, Londres-Paris-New York, 58 p.
- **Debabza, M.** (2005). Qualité microbiologique des eaux. Revue des Sciences de l'Eau.
- **Diop, C.** (2006). Étude de la qualité microbiologique des eaux de boisson conditionnées en sachet et vendues sur la voie publique dans la région de Dakar.
- **Doudou B., & Ouici H.** (2025). Pedological parameter analysis in the Ghardaia region. Revista Electronica De Veterinaria, 26(1),101-106.
- **Facklam, R. R., & Moody, M. D.** (1970). Presumptive identification of group D streptococci: The bile-esculin test. Applied Microbiology, 20(2), 245–250.
- **Fifati, A.** (2012). Les nappes phréatiques de l'Algérie : ressources et perspectives. Revue Algérienne des Ressources Hydriques, 5(1), 34–50.
- **Gadin-Goyon, N.** (2002). Qualité bactériologique de l'eau et impact en élevage bovin laitier [Thèse, Université Claude-Bernard Lyon 1].
- **Gerard, G.** (1999). L'eau : milieu naturel et maîtrise (Vol. 1). INRA, 204 p.

- **Gueciouer Teffah, et al.** (2022). Flooding study in the desert climate zone : case study of M'zab valley (Algeria). *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 11(1), 23–39.
- **Guerradi, H., Rouas, A., & Bendania, M. L.** (2018). Étude hydrogéologique de la région de Hassi Lafhel (Ghardaïa) (Mémoire de Master). Université Kasdi Merbah, Ouargla
- **Guessoum, H., Benbrahim, F., Halilat, M. T., Laouar, F., Bensalama, M., & Darem, S.** (2015). Pollution biologique des eaux phréatiques de la région de Ghardaïa (Cas de Sebseb). *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 2(1), 15–22.
- **Hadj, C. H.** (2020). Étude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique entre eau de puits de Si Abdelghani (Tiaret) et puits de Daïa (Ghardaïa) [Mémoire de Master, 1 p.].
- **Haijoubi, H., et al.** (2017). Étude de la qualité bactériologique de l'eau utilisée dans l'industrie agroalimentaire dans le Nord du Maroc. *Pan African Medical Journal*, 2 p.
- **Hakimi, Y., et al** (2019). Pour une exploitation raisonnée des ressources en eaux souterraines du Sahara algérien, région de Ghardaïa : état des lieux et recommandations: *Revue Internationale de Géologie, de Géographie et d'Écologie Tropicales*, 43(3), 375-384.
- **Halassa, C., & Houni, W.** (2021). Quelle intervention hydraulique pour une nuisance urbaine ? Cas de l'oued M'zab (Mémoire de Master). Université de Ghardaïa.
- **Hamel, A., & Hanichi, S.** (2020). Étude hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de la région de Metlili (Wilaya de Ghardaïa) (Mémoire de Master). Université de Ghardaïa.
- **Institut Pasteur d'Algérie** (2006). Cours d'hygiène et de microbiologie des eaux : Microbiologie des eaux de boissons. Institut Pasteur d'Algérie.
- **ISO 6461-2:1993.** (1993). *Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des spores de micro-organismes anaérobies sulfite-réducteurs (clostridia). Partie 2. Méthode par filtration sur membrane*. Organisation internationale de normalisation.
- **ISO 9308-1:2000.** (2000). *Qualité de l'eau – Recherche et dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes – Partie 1 : Méthode générale par filtration sur membranes*. Organisation internationale de normalisation.
- **ISO 7899-2:2000.** (2000). *Water quality – Detection and enumeration of intestinal enterococci. Partie 2 : Méthode par filtration sur membrane*. International Organization for Standardization.
- **ISO 19458:2006.**(2006). *Qualité de l'eau — Échantillonnage pour analyse microbiologique*. Organisation internationale de normalisation (ISO).

- **Joradp, N° 48.** (2015). Méthodes horizontales pour le dénombrement des levures et moisissures par comptage des colonies dans les produits dont l'activité d'eau est inférieure ou égale à 0.95 (22 p.).
- **John, P., & Donald, A.** (2010). Microbiologie (3e éd., 1216 p.).
- **Kesbi, et Kouzrit.** (2021). Cartographie du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) par télédétection spatiale dans le système oasien d'Oued M'Zab (Wilaya de Ghardaïa).
- **Leemans, M., Bawin, C., Bellon, J., & Bovy, C.** (2008). Livre bleu : Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur l'eau potable et l'assainissement des eaux usées (3e éd., 5 p.). Fédération Belge du Secteur de l'eau asbl.
- **MacFaddin, J. F.** (2000). Oxidase test. In *Biochemical tests for identification of medical bacteria* (3rd ed., pp. 363–367). Lippincott Williams & Wilkins.
- **MacFaddin, J. F.** (2000). Catalase test. In *Biochemical tests for identification of medical bacteria* (3rd ed., pp. 78–97). Lippincott Williams & Wilkins.
- **Maïga, A.** (2005). Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'EDM.SA dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière [Thèse diplôme d'état (Docteur en Pharmacie), p. 77].
- **Meddah, M., & Ben Otmane, A.** (2020). Étude hydrogéologique et hydrochimique de la nappe de CI : Cas de quelques forages à Ghardaïa [Mémoire de master, Université de Ghardaïa]. DSpace Université de Ghardaïa.
- **OMS.** (1994). Directives de qualité pour les eaux de boisson ; Volume 1 – Recommandations (2e éd.). Organisation Mondiale de la Santé.
- **Painchaud, J.** (1997). La qualité de l'eau des rivières de Québec : État et tendances. Direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement et de la Faune.
- **Pulim.** (1991). L'eau et la santé en Afrique tropicale : Colloque pluridisciplinaire Géographique. Médecine Limoges.
- **Reddi, P. C., et al.** (1974). Tergitol 7 as a selective agent for coliforms in water. *Applied Microbiology*, 28(2), 250–252.
- **Rodier, et al.** (2009). L'analyse de l'eau (9e éd.). Dunod, Paris, pp. 120–256, 1002.
- **Roux, M.** (1987). Office International de l'eau : L'analyse biologique de l'eau. TEC & DOC, Paris, 229 p.
- **Slanetz, L. W., & Bartley, C. H.** (1957). A new medium for the detection of enterococci in water. *Journal of Applied Microbiology*, 5(3), 169–173.
- **Theau, A.** (2005). Coliformes thermos tolérants : Le laboratoire partenaire de votre qualité.

ANNEXES

Annexes

1. Gélose Lactosée au TTC et au Tergitol 7

Définition et Domaine d'Utilisation: La gélose lactosée au TTC et au Tergitol 7 est un milieu de culture sélectif et différentiel utilisé pour le dénombrement des *Escherichia coli* et des bactéries coliformes dans les eaux, en particulier les eaux destinées à la consommation humaine et les eaux de piscine, par la méthode de filtration sur membrane. Sa composition est conforme aux normes NF EN ISO 9308-1 et NF T90-431.

Composition (Formule-type pour 1 litre de milieu complet): - Peptone pancréatique

de viande : 10,0 g - Extrait de viande : 5,0 g - Extrait autolytique de levure : 6,0 g - Lactose : 20,0 g - Tergitol 7 : 0,1 g - Bleu de bromothymol : 50,0 mg - Chlorure de 2,3,5- triphényltétrazolium (TTC) : 25,0 mg - Agar agar bactériologique : 10,0 g - pH final (à 25°C): 7,2 ± 0,1

(Note: La composition peut être ajustée pour garantir des performances optimales. Le TTC est souvent fourni séparément sous forme de supplément lyophilisé.)

Préparation (à partir de milieu déshydraté et supplément):

1. Suspendre 51,1 g de la base déshydratée (sans TTC) dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée.
2. Chauffer lentement jusqu'à ébullition sous agitation constante pour dissoudre complètement.
3. Répartir en flacons (par exemple, 100 mL par flacon).
4. Stériliser à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes.
5. Refroidir le milieu de base à 44-47 °C dans un bain-marie.
6. Reconstituer stérilement le supplément TTC lyophilisé (par exemple, 12,5 mg de TTC dans un flacon) avec le volume approprié d'eau stérile (par exemple, 5 mL).
7. Ajouter stérilement le supplément TTC reconstitué à la base fondue et refroidie (par exemple, 1 mL de supplément pour 100 mL de base).
8. Homogénéiser soigneusement en évitant la formation de bulles.
9. Couler dans des boîtes de Petri stériles (environ 5 mm d'épaisseur).
10. Laisser solidifier sur une surface plane et froide. Ne pas sécher les boîtes avant utilisation.

Référence principale: Fiche Technique - GELOSE LACTOSEE AU TTC ET AU TERGITOL7, BIOLIFE ITALIANA S.r.l. (Consultée via Humeau)



2. Gélose Tryptone Soja Agar (TSA)

Définition et Domaine d'Utilisation: La Gélose Tryptone Soja (TSA), également appelée Gélose Trypto-Caséine Soja ou Trypticase Soja Agar, est un milieu de culture nutritif universel et non sélectif. Grâce à son excellente nutritivité, elle convient à la culture et à l'isolement d'une grande variété de microorganismes, y compris des bactéries aérobies et anaérobies, ainsi que des germes exigeants et non exigeants (bactéries, levures, moisissures). Elle est largement utilisée pour des numérations générales, la conservation de souches, les tests de sensibilité aux antibiotiques (après ajout de sang), et comme milieu de référence pour le contrôle qualité d'autres milieux de culture (conformément à la norme NF EN ISO 11133). Elle est également employée pour les contrôles microbiologiques dans l'industrie cosmétique, pharmaceutique (Pharmacopées européenne et américaine), alimentaire et pour l'analyse de l'eau.



Composition (Formule-type pour 1 litre de milieu):

- Tryptone (hydrolysate pancréatique de caséine) : 15,0 g - Peptone papainique de soja : 5,0 g - Chlorure de sodium (NaCl) : 5,0 g - Agar agar bactériologique : 15,0 g - pH final (à 25 °C) : 7,3 ± 0,2

(Note: La composition peut être ajustée pour garantir des performances optimales.)

Préparation (à partir de milieu déshydraté):

1. Mettre en suspension 40,0 g de milieu déshydraté dans 1 litre d'eau distillée ou déminéralisée.
2. Chauffer lentement jusqu'à ébullition sous agitation constante et maintenir l'ébullition le temps nécessaire à la dissolution complète de l'agar.
3. Répartir en tubes ou en flacons selon l'utilisation prévue.
4. Stériliser à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes.
5. Refroidir et maintenir à 44-47 °C si des ajouts (comme du sang) doivent être faits, ou laisser refroidir et solidifier pour une utilisation ultérieure.

Références principales: - Fiche Technique - GELOSE TRYPTO-CASEINE SOJA (TSA),

BIOLIFE ITALIANA S.r.l. (Consultée via Humeau) .

3. milieu Slanetz

Le **milieu Slanetz** est un milieu sélectif utilisé principalement pour l'isolement et le dénombrement des **streptocoques fécaux**, notamment les **entérocoques**, dans les échantillons d'eau. Il permet de différencier ces bactéries sur la base de leur capacité à fermenter le mannitol et à produire des colonies caractéristiques.

Composition du milieu Slanetz :

La composition typique du milieu Slanetz est la suivante

:

- **Peptone** : 10 g
- **Extrait de levure** : 3 g
- **Mannitol** : 10 g
- **Chlorure de sodium (NaCl)** : 5 g
- **Agar** : 15 g
- **Sulfate de sodium (Na₂SO₄)** : 1 g
- **Bleu de méthylène** : 0,03 g
- **Eau distillée** : 1 L



Préparation du milieu Slanetz :

1. Préparation de la solution :

- Dissoudre les ingrédients (peptone, extrait de levure, mannitol, NaCl, agar, sulfate de sodium, bleu de méthylène) dans 1 litre d'eau distillée.
- Bien mélanger pour assurer la dissolution complète des solides.

2. Stérilisation :

- Stériliser le milieu par autoclave à 121°C pendant 15 minutes.

3. Refroidissement et distribution :

- Après stérilisation, laisser refroidir le milieu à environ 50°C.
- Verser le milieu dans des boîtes de Petri stériles pour solidification.

4. Utilisation :

- Une fois refroidi, le milieu est prêt pour l'inoculation des échantillons d'eau. Lors de l'incubation, les entérocoques se développent en colonies qui apparaissent comme de petites colonies roses ou rouges, indicatives de leur capacité à fermenter le mannitol.

4. milieu BEA (Bile Esculine Azide Agar)

Le milieu BEA (Bile Esculine Azide Agar) est un milieu sélectif et différentiel destiné à l'isolement et à l'identification des entérocoques, grâce à leur capacité à hydrolyser l'esculine en présence de sels biliaires et de l'azide de sodium qui inhibe la flore concurrente.

Composition Typique (pour 1 L d'eau distillée)

- **Peptone trypticase (tryptone)** : 10 g
- **Extrait de levure** : 5 g
- **Esculine** : 1 g
- **Citrate de fer ammoniacal** : 0,5 g
- **Azide de sodium** : 0,2 g
- **Sels biliaires** : 20 g
- **Agar** : 15 g
- **Eau distillée** : 1 000 mL
- **pH final** : $7,1 \pm 0,2$ à 25 °C



Procédure de Préparation

1. **Dissolution** :
 - Peser précisément tous les composants.
 - Dissoudre la peptone, l'extrait de levure, l'esculine, le citrate de fer, l'azide de sodium, et les sels biliaires dans 1 L d'eau distillée.
 - Ajouter l'agar et chauffer tout en agitant pour obtenir une solution homogène.
2. **Stérilisation** :
 - Autoclaver la préparation à 121 °C pendant 15 minutes pour éliminer toute contamination.
3. **Refroidissement et Distribution** :
 - Laisser refroidir le milieu jusqu'à environ 50–55 °C afin d'éviter la condensation dans les boîtes.
 - Verser le milieu dans des boîtes de Petri stériles et laisser solidifier.
4. **Utilisation** :
 - Le milieu BEA est alors prêt à être utilisé pour la mise en culture. Lors de l'incubation, les entérocoques hydrolysent l'esculine. La réaction avec le citrate de fer produit une coloration noire/brune autour des colonies, confirmant leur identité.

5. Gélose Viande Foie (VF Agar / Meat Liver Agar)

Définition et Domaine d'Utilisation: La Gélose Viande-Foie (VF) est un milieu semisolide ou solide principalement utilisé pour la recherche et le dénombrement des spores de *Clostridia* sulfito-réducteurs dans les produits alimentaires (selon NF V08-602) et les eaux (selon NF T 90-415). Il est également utilisé en tube profond pour déterminer le type respiratoire (aérobie, anaérobie, aéro-anaérobie facultatif, microaérophile) des microorganismes en observant la localisation de la croissance par rapport à la surface du milieu.

Composition (Formule-type pour 1 litre de milieu):

- Peptone viande-foie : 30,00 g - Glucose : 2,00 g - Amidon soluble : 2,00 g - Sulfite de sodium (Sodium sulfite) : 2,50 g - Citrate ferrique ammoniacal (Ferric ammonium citrate) : 0,50 g - Agar : 11,00 g - pH final (à 25 °C) : $7,6 \pm 0,2$

(Note: La concentration d'agar peut être ajustée.

L'amidon soluble peut aider à neutraliser des métabolites toxiques.)



Préparation (à partir de milieu déshydraté):

1. Dissoudre 48 g de poudre dans 1 litre d'eau purifiée.
2. Porter à ébullition sous agitation constante pendant au moins 1 minute pour assurer la dissolution complète.
3. Répartir en tubes (par exemple, 20 mL en tubes de 18x180 mm pour le dénombrement en profondeur) ou en flacons.
4. Stériliser à l'autoclave à 121 °C pendant 15 minutes.
5. Laisser refroidir en position verticale pour obtenir des tubes profonds.

Référence principale: Fiche technique - Gélose Viande-Foie, Version 03 2022 (Consultée via Humeau, TC_ViandeFoiegeLOSE_74702547502_FR_100320.pdf)

Les norme algérienne JO N18 23 mars 2011

| | | | |
|-----------------------------|---|---------|---|
| Paramètres microbiologiques | Escherichia Coli | n/100ml | 0 |
| | Entérocoques | n/100ml | 0 |
| | Bactéries sulfitoréductrices y compris les spores | n/20ml | 0 |