

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique
Université Chadli Bendjedid
El Tarf



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الشاذلي بن جديد
الطارف

جامعة الشاذلي بن جديد

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

UNIVERSITE CHADLI BENDJEDID

كلية علوم الطبيعة والحياة

Département des sciences biologiques

قسم العلوم الطبيعية والحياة

Mémoire de Fin d'Études
Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master
« Toxicologie Industrielle et Environnementale »

THÈME

Caractérisation physico-chimique, microbiologique et évaluation de l'indice de contamination de pollution microbiologique des eaux de source d'Ain Bouglez -Bouteldja (La wilaya d'El Tarf)

Soutenu le : 18/06/2025

Présenté par : DAOUDI Khadidja

Devant le jury composé de :

Dr. FELAH Imen	MCA	Président	UCBET
Dr. BOUMARAF Warda	MCA	Examinatrice	UCBET
Dr. BERGAL Amira	MCA	Promotrice	UCBET

Année universitaire : 2024 - 2025

Remerciements



Avant toute chose, je rends grâce à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la volonté, la patience, le courage et la détermination nécessaires à la réalisation de ce travail. C'est avec une profonde reconnaissance que je Le remercie de m'avoir accompagné tout au long de cette aventure intellectuelle et humaine.

La concrétisation de ce mémoire est le fruit de la contribution, du soutien et de l'accompagnement bienveillant de nombreuses personnes, à qui j'adresse ici mes plus sincères remerciements.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Dr. Bergal Amira**, mon encadrante, pour la qualité de son accompagnement scientifique, la richesse de ses conseils, sa disponibilité, son suivi rigoureux ainsi que les ressources mises à ma disposition tout au long de ce travail. Son soutien constant et ses orientations avisées ont été une source d'inspiration précieuse.*

*Je souhaite également adresser mes remerciements les plus chaleureux à **Madame Farida Gacem** de l'entreprise Bouglez, ainsi qu'à **Monsieur Adel Berrahmoune** du laboratoire de qualité, pour leur précieuse aide, leur disponibilité, leur collaboration généreuse et le temps qu'ils ont*

consacré à m'accompagner dans certaines étapes déterminantes de mon travail. Leur contribution a été d'une importance inestimable.

À mes chers parents, à mon frère et mes sœurs, je tiens à dire un immense merci pour leur affection, leur soutien moral indéfectible et leurs encouragements constants. Leur présence à mes côtés a été un pilier fondamental dans cette aventure.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce mémoire, je dis tout simplement : merci



Dédicace

À mon très cher père, Daoudi Slimane

Tu as toujours été pour moi bien plus qu'un simple père : un modèle d'intégrité, de respect, d'honnêteté et de rigueur. Ta droiture et ton sens du devoir m'ont profondément inspirée.

Grâce à toi, j'ai compris très tôt la véritable signification du travail, de la persévérance et de la responsabilité.

Je te remercie du fond du cœur pour ton amour inconditionnel, ta générosité, ta sagesse et ton soutien indéfectible. Ta présence a toujours été une lumière dans les moments d'ombre, un appui dans les instants de doute.

Ce modeste travail représente le fruit des innombrables sacrifices que tu as consentis pour m'offrir une éducation digne et une formation solide. Je t'aime profondément, papa. Je prie le Tout-Puissant de te combler de santé, de paix intérieure et d'une longue vie heureuse.

Que Dieu t'élève en dignité comme tu as toujours élevé la mienne.

À ma chère mère, Diabi Fatma Zohra

À toi, maman au cœur immense, qui a tant souffert pour m'épargner la moindre douleur.

*Tu as toujours répondu à mes besoins avec un amour infini et une
patience sans limites.*

*Tu as su m'entourer de tendresse, de douceur et de prières silencieuses
qui m'ont portée plus loin que je n'aurais pu l'imaginer.*

*Que Dieu te protège et t'accorde santé, sérénité et bonheur, car aucune
parole ne saurait rendre justice à ce que tu représentes pour moi.*

Je te dois tant.

*À mon frère bien-aimé, **Aïssa***

*Complice de mes souvenirs d'enfance, pilier dans mes moments
d'hésitation, tu as toujours été là.*

*Merci pour ton soutien discret, ton réconfort silencieux et tes
encouragements sincères.*

*Que notre lien fraternel se renforce encore et toujours, et qu'il continue
d'être un refuge de loyauté et de tendresse.*

*À mes sœurs adorées : **Souad, Khaoula, Isra***

*Vous avez été mes premières alliées, mes conseillères, mes confidents.
Votre présence bienveillante, vos encouragements constants et votre
amour m'ont portée avec force tout au long de mes études.*

Que Dieu vous protège, vous accorde le succès et vous comble de

bonheur dans tous les aspects de vos vies.

À mes petits trésors, Ilyes et Ayham

Vous êtes une source pure de joie et de lumière dans ma vie.

Avoir des neveux comme vous est un cadeau inestimable.

*Je vous aime d'un amour sincère et profond, et je vous dédie cette
réussite avec tout mon cœur.*

Sommaire

Introduction

Chapitre I. Aspects généraux de l'eau

I. L'eau	(03)
I.1. Définition de l'eau	(03)
I.2. Composition de l'eau	(03)
I.2.1. Les sels minéraux :	(04)
I.2.2. Autres minéraux et oligo-éléments :	(05)
I.2.3 Autres substances naturelles dissoutes :	(06)
I.3. Les différentes catégories d'eau :	(06)
I.3.1. L'eau du robinet :	(06)
I.3.2. L'eau de source :	(06)
I.3.3. L'eau minérale naturelle :	(07)
I.3.4. L'eau souterraine :	(07)
I.3.5. L'eau de surface :	(08)
I.4. Cycle de l'eau :	(08)
I.4.1. L'Évaporation :	(09)
I.4.2. La Transpiration et l'Évapotranspiration	(09)
I.4.3. La Condensation	(09)
I.4.4. Les Précipitations	(09)
I.4.5. Le Ruissellement	(09)
I.4.6. L'Infiltration et les Nappes Souterraines	(09)
I.4.7. Le Retour aux Océans	(10)
I.5. Les états physiques de l'eau :	(10)
I.5.1. État solide	(10)
I.5.2. État liquide	(10)
I.5.3. État gazeux	(11)
I.6. Propriétés physico-chimiques de l'eau	(11)
I.6.1. Propriétés physiques de l'eau	(11)
I.6.1.1. Point d'ébullition	(12)
I.6.1.2. Viscosité	(12)
I.6.1.3. Pouvoir solvant	(12)
I.6.1.4. Tension superficielle	(12)
I.6.1.5. Chaleur spécifique	(12)
I.6.1.6. Chaleur latente	(12)
I.6.1.7. Capacité thermique	(13)
I.6.1.8. Transparence	(13)
I.6.2. Propriétés chimiques de l'eau	(13)
I.6.3. Propriétés biologiques de l'eau	(13)
I.7. La pollution de l'eau	(14)
I.7.1. Les principales sources de pollution de l'eau :	(14)
I.7.1.1. Pollution d'origine industrielle	(14)
I.7.1.2. Pollution issue de l'agriculture	(15)
I.7.1.3. Pollution domestique	(15)
I.7.1.4. Pollution liée aux eaux de ruissellement	(16)
I.7.1.5. Pollution d'origine naturelle	(16)

I.7.2. Les grands types de polluants de l'eau :	(16)
I.7.2.1. Les polluants physiques	(16)
I.7.2.2. Les polluants chimiques	(17)
I.7.2.3. Les polluants biologiques	(17)
I.8. Les mécanismes de contamination des ressources hydriques :	(18)
I.8.1 Les eaux de surface :	(18)
I.8.2 Les eaux souterraines :	(18)
I.9. Procédés de purification des eaux de source	(19)

Chapitre II. Évaluation de la potabilité de l'eau

I. Normes de potabilité de l'eau :	(21)
I.1. Paramètres organoleptiques :	(22)
I.1.1. Mesure de la Couleur :	(22)
I.1.2. Évaluation de l'odeur :	(22)
I.1.3. Évaluation de saveur et goût	(23)
I.1.4. Turbidité	(24)
I.2. Paramètres physico-chimiques	(25)
I.2.1. Paramètres physiques :	(26)
I.2.1.1. Température	(26)
I.2.1.2. Turbidité	(26)
I.2.1.3. Salinité	(26)
I.2.1.4. Conductivité électrique (CE)	(26)
I.2.1.5. Résidu sec	(26)
I.2.1.6. Potentiel hydrogène (pH)	(27)
I.2.1.7. Solides Dissous Totaux (TDS)	(27)
I.2.2. Paramètres chimiques :	(27)
I.2.2.1. Oxygène dissous	(27)
I.2.2.2. Dureté totale (TH)	(27)
I.2.2.3. Titre alcalimétrique (TA)	(27)
I.2.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC)	(28)
I.2.2.5. Cations majeurs :	(28)
a). Calcium (Ca^{2+})	(28)
b). Magnésium (Mg^{2+})	(28)
c). Sodium (Na^+)	(28)
d). Potassium (K^+)	(28)
I.2.2.6. Anions majeurs :	(29)
a). Chlorures (Cl^-) :	(29)
b). Sulfates (SO_4^{2-})	(29)
c). Bicarbonates (HCO_3^-)	(29)
I.3. Paramètres bactériologiques :	(29)
I.3.1. Présence microbienne et importance de la surveillance	(29)
I.3.2. Coliformes totaux :	(30)
I.3.3. Coliformes fécaux (ou thermotolérants)	(30)
I.3.4. Streptocoques fécaux	(30)
I.3.5. Demande biochimique en oxygène (DBO_5) :	(31)
I.3.6. Demande chimique en oxygène (DCO)	(31)
I.4. Indicateurs de pollution	(31)
I.4.1. Nitrates (NO_3^-)	(31)
I.4.2. Nitrites (NO_2^-)	(31)

I.4.3.Phosphates (PO_4^{3-}) :	(32)
I.4.Substances indésirables	(32)
I.4.1.Fer (Fe)	(32)
I.4.2.Manganèse (Mn)	(32)
I.4.3.Ammonium (NH_4^+)	(32)
I.5.Substances toxiques	(32)
I.5.1.Métaux lourds	(32)
I.5.2.Pesticides	(33)
I.5.3.Hydrocarbures	(33)

Chapitre III : Matériel et Méthodes

Introduction	(35)
I. L'objectif du stage	(36)
II. Description du lieu de prélèvement	(37)
III. II.1.Climat :	(37)
IV. II.2. Végétation :	(38)
III. Détermination du site de prélèvement	(38)
III.1.Procédure de prélèvement des échantillons	(38)
III.2. Équipement de prélèvement	(39)
III.3. Traçabilité et codification des échantillons	(39)
III.4. Technique de prélèvement	(39)
III.5. Conditions de transport et de conservation	(40)
IV. Choix du laboratoire d'analyse	(40)
IV.1.L'Entreprise SARL « SALSABIL» Bougelaz	(40)
IV.1.1. Situation géographique :	(41)
IV.1.2.Description et implantation de l'entreprise SARL « SALSABIL»:	(42)
IV.1.3.Objectifs stratégiques et perspectives de développement	(43)
IV.1.4.Les paramètres étudiées :	(43)
IV.1.4.1.Les paramètres physicochimiques	(43)
A). Matériels utilisés :	(44)
B). Méthodologie :	(44)
a). Les paramètres physiques :	(44)
1. Température de l'eau (T) (Exprimée en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$)) :	(44)
2. Turbidité (NTU)(Exprimée en unités néphélométriques)	(44)
3. Salinité (Sal) (Exprimée en grammes par litre (g/L) ou en PSU (Practical Salinity Unit)	(46)
4. Solides dissous totaux (TDS : Total Dissolved Solids) (Exprimés en mg/L)	(46)
5. Conductivité électrique (CE) (Exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$)) :	(47)
b). Les paramètres chimiques :	(49)
1. Potentiel hydrogène (pH) (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité) :	(49)
2. Éléments ioniques et nutriments dissous mesurés en mg/L :	(51)
IV.2. Laboratoire d'analyse de la qualité Berrahmoune Adel à Annaba	(58)
IV.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliforme fécaux	(59)
IV.2.2.Matériels et méthodes	(61)
IV.2.3.L'objectif de chaque méthode	(68)
IV.2.4.La Comparaison entre les deux méthodes	(69)

Chapitre IV : Les résultats et discussions

1. Résultats et discussions des analyses organoleptiques	(72)
1.1. Odeur	(72)
1.2. Couleur	(72)
2. Résultats et discussions des Analyses Physico-chimique :	(72)
2.1 Paramètres physiques	(73)
2.1.1. Potentielle d'hydrogène (PH)	(73)
2.1.2. La conductivité Electrique (CE)	(74)
2.1.3. Solides dissous totaux (TDS)	(75)
2.1.4. La Turbidité	(76)
2.2. Les paramètres chimiques	(77)
2.2.1. Le Nitrate (NO ₃ ⁻) :	(77)
2.2.2. Le Nitrites (NO ₂ ⁻)	(78)
2.2.3. Le chlorure (Cl ⁻)	(81)
2.2.4. Magnésium (Mg ²⁺)	(82)
2.2.5. Sulfate	(83)
2.2.6. Potassium	(84)
3. Résultats et discussions des Analyses microbiologiques	(85)
Conclusion	(87)

Liste des Figures

Figure	Titre	Page
Figure 01	L'eau	03
Figure 02	La molécule d'H ₂ O	04
Figure 03	Les cations	04
Figure 04	Les anions	05
Figure 05	L'eau du robinet	06
Figure 06	L'eau de source	07
Figure 07	L'eau minérale naturelle	07
Figure 08	L'eau souterraine	08
Figure 09	L'eau de surface	08
Figure 10	Le cycle hydrologique	10
Figure 11	L'état solide d'eau	10
Figure 12	L'état liquide d'eau	11
Figure 13	L'état gazeux	11
Figure 14	Eau polluée	14
Figure 15	Pollution industrielle	15
Figure 16	Pollution agricole .	15
Figure 17	Les eaux usées (pollution domestique)	15
Figure 18	Pollution liée aux eaux de ruissellement	16
Figure 19	Les polluants d'origine naturelle: (les incendies de forêts, les éruptions volcaniques).	16
Figure 20	Les polluants physiques : les bouteilles	17
Figure 21	Les polluants chimiques (pesticides, engrais).	17
Figure 22	Les polluants biologiques (les virus, les moisissures).	17
Figure 23	Les mécanismes de contamination des ressources hydriques	19
Figure 24	La mesure de la couleur d'eau	22
Figure 25	L'évaluation de l'odeur d'eau	23
Figure 26	L'évaluation de saveur et goût d'eau (PH mètre)	23
Figure 27	L'évaluation de la turbidité d'eau (Turbidimètre)	24
Figure 28	Source d'Aïn Bouglez	37
Figure 29	L'Entreprise SARL « SALSABIL	41
Figure 30	Situation géographique	42
Figure 31	L'eau de Bouglez	43
Figure 32	Turbidimètre	45
Figure 33	étuve de séchage	47
Figure 34	Balance électronique	47
Figure 35	Le conductimètre	48
Figure 36	Le pH-mètre	49
Figure 37	Le pH-mètre	50
Figure 38	Les solutions tampon du PH-mètre	51
Figure 39	Le spectrophotomètre DR 3900 de Hach	51
Figure 40	Les réactifs LCK311 pour l'analyse des chlorures	52
Figure 41	Les étapes pour faire l'analyse de Nitrates (NO ₃ ⁻)	53
Figure 42	Les réactifs LCK341 pour l'analyse de Nitrite (NO ₂ ⁻).	54

Figure 43	Les réactifs LCK326 pour l'analyse de Magnésium (Mg^{2+})	54
Figure 44	Les étapes pour l'analyse de Potassium.	55
Figure 45	Les réactifs LCK555 pour l'analyse de la DBO_5 .	57
Figure 46	Les réactifs LCK327 pour l'analyse de la Dureté d'eau	57
Figure 47	Les réactifs LCK 153 pour l'analyses de sulfate .	58
Figure 48	Coliformes.	59
Figure 49	La bactérie Escherichia coli.	60
Figure 50	Échantillon d'eau à analyser.	60
Figure 51	Milieu VRBL (Violet Red Bile Lactose Agar)	60
Figure 52	Appareil de chauffe (bain-marie) pour faire fondre le VRBL	61
Figure 53	Bec benzène	61
Figure 54	Étuve/incubateur réglé (à 37°C pour les coliformes totaux 44,5°C pour les coliformes fécaux).	61
Figure 55	Pipette pasteur	62
Figure 56	Boîtes de Pétri stérile	62
Figure 57	Tige métallique stérilisée.	62
Figure 58	Gants, alcool	62
Figure 59	Dissolution de VRBL .	63
Figure 60	Stérilisation de pipette pasteur .	63
Figure 61	Mise en place de l'échantillon.	64
Figure 62	Mise en place de la gélose dans le milieu de culture.	64
Figure 63	Mélange de la gélose.	65
Figure 64	Les boites de pétri prêtes a l'incubation.	65
Figure 65	La gélose VRBL.	66
Figure 66	Stérilisation des matériels.	66
Figure 67	Mise en place de l'échantillon.	67
Figure 68	L'étalement de l'échantillon.	67
Figure 69	Les boites de pétri prêtes a l'incubation.	68
Figure 70	L'ensemencement en surface et en masse.	69
Figure 71	Représentation graphique du teneur en PH	73
Figure 72	Représentation graphique du teneur en conductivité	74
Figure 73	Représentation graphique du teneur en TDS	75
Figure 74	Représentation graphique du teneur en Turbidité	76
Figure 75	Représentation graphique du teneur en nitrate	77
Figure 76	Représentation graphique du teneur en nitrites	79
Figure 77	Représentation graphique du teneur en chlorure	80
Figure 78	Représentation graphique du teneur en magnésium	81
Figure 79	Représentation graphique du teneur en sulfate	82
Figure 80	Représentation graphique du teneur en potassium	83

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau II.1	Normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable	25
Tableau III.1	Résultats des Analyses physico-chimiques (2023-2024-2025)	72
Tableau III.2	Résultats des Analyses microbiologiques (2023-2024-2025)	84

Résumé

Depuis l'origine de la vie, l'eau joue un rôle crucial dans le maintien des écosystèmes et les activités humaines. Cependant, elle est souvent exposée à diverses formes de pollution d'origine urbaine, agricole et industrielle. Cette vulnérabilité nuit à sa qualité, posant un risque pour la santé humaine et l'environnement.

La présente étude, menée à la source d'Ain Bouglez (Bouteldja, wilaya d'El Tarf), vise à évaluer la qualité **physico-chimique et microbiologique** de l'eau. L'objectif est de déterminer son niveau de potabilité et de comparer les résultats obtenus avec les normes algériennes et internationales.

Les analyses révèlent que :

- L'eau de la source d'Ain Bouglez présente une **minéralisation modérée** et une **dureté acceptable**.
- Elle est **conforme aux normes de l'OMS** en matière de magnésium.
- Elle **n'est pas affectée par une pollution ammoniacale ou nitrique**, indiquant une bonne préservation de la source.

En conclusion, l'eau de cette source est de **très bonne qualité** et adaptée à la consommation humaine

Mots clés : Eaux de source, Qualité, Analyses physico-chimiques et microbiologiques , Potabilité.

Abstract

Since the origin of life, water has played a crucial role in maintaining ecosystems and supporting human activities. However, it is often exposed to various forms of pollution from urban, agricultural, and industrial sources. This vulnerability negatively affects its quality, posing a risk to both human health and the environment.

This study, conducted at the **Ain Bouglez spring (Bouteldja, El Tarf province)**, aims to assess the **physico-chemical and microbiological quality** of the water. The objective is to determine its potability and compare the results with Algerian and international standards.

The analyses revealed that:

- The water from the Bouglez spring has **moderate mineralization** and **acceptable hardness**.
- It **complies with WHO standards** in terms of magnesium concentration.
- It is **not affected by ammoniacal or nitrate pollution**, indicating good preservation of the spring.

Conclusion: The water from this spring is of **very good quality** and suitable for human consumption

Keywords: Spring water, Quality, Physico-chemical and microbiological analyses ,Potability

ملخص

منذ نشأة الحياة، تلعب المياه دورًا حاسمًا في الحفاظ على النظم البيئية وفي دعم الأنشطة البشرية. ومع ذلك، فهي غالبًا ما تتعرض لأشكال مختلفة من التلوث الناتج عن المصادر الحضرية والزراعية والصناعية. وتؤثر هذه الهشاشة سلبيًا على جودتها، مما يشكل خطرًا على الصحة البشرية والبيئة.

تهدف هذه الدراسة، التي أجريت على منبع بوقلاز (بوثلجة، ولاية الطارف) إلى تقييم الجودة الفيزيائية-الكيميائية والميكروبيولوجية للمياه. والهدف منها هو تحديد مدى صلاحية المياه للشرب ومقارنة النتائج بالمعايير الجزائرية والدولية.

وقد كشفت التحاليل بأن:

- ❖ مياه منبع بوقلاز تتميز بتمعدن معتدل وقساوة مقبولة.
- ❖ هي مطابقة لمعايير منظمة الصحة العالمية من حيث تركيز المغنزيوم.
- ❖ كما أنها غير ملوثة بالأمونيك أو النترات، ما يدل على حماية جيدة للمنبع.

✓ الاستنتاج: مياه هذا المنبع ذات جودة عالية وصالحة للاستهلاك البشري.

الكلمات المفتاحية: مياه الينابيع، الجودة، التحاليل الفيزيائية والكيميائية و الميكروبيولوجية

Introduction

Depuis les origines de la vie sur Terre, l'eau s'impose comme un élément incontournable dans l'équilibre des écosystèmes et le fonctionnement des activités humaines. Qu'elle soit souterraine, de surface ou atmosphérique. Cette ressource traverse tous les milieux qu'ils soient naturels ou transformés par l'homme, en jouant un rôle clé dans les réactions physico-chimiques et biologiques. Indispensable pour l'hydratation des êtres vivants, elle est aussi au cœur des processus agricoles, industriels et domestiques.

Cependant, cette omniprésence rend l'eau particulièrement exposée aux contaminations multiples, issues notamment des rejets urbains, agricoles ou industriels. Sa qualité s'en trouve ainsi fréquemment altérée, compromettant à la fois la santé publique et la stabilité des équilibres environnementaux.

D'après les travaux **d'Olivaux (2007)** et de **Barbaux (2007)**, l'eau occupe une position centrale dans les dynamiques écologiques. Elle interagit continuellement avec les différents composants de la biosphère, qu'il s'agisse du sol, de l'air, de la faune ou de la flore. À travers ces échanges constants, elle devient un médium privilégié de circulation des substances, qu'elles soient bénéfiques ou nuisibles. L'intensification des activités humaines qu'elles soient agricoles, urbaines ou industrielles accentue cette vulnérabilité en multipliant les sources de pollution, qu'elles soient naturelles ou d'origine anthropique.

Dans ce contexte, la conservation de cette ressource précieuse impose la mise en place d'un mode de gestion durable, axé sur la sauvegarde des écosystèmes aquatiques et la limitation des impacts humains. Une approche intégrée, respectueuse de l'équilibre écologique, devient alors essentielle pour garantir une utilisation rationnelle de l'eau tout en assurant la pérennité de ses fonctions dans la nature (**Chéry, 1999 ; Margat, 2004**).

Malheureusement, dans de nombreuses régions du globe, en particulier dans les pays en développement, l'eau devient paradoxalement un facteur de risque plutôt qu'un facteur de vie. En effet, selon **Guiraud (1980)**, la contamination des ressources hydriques par des agents chimiques ou microbiens compromet gravement leur potabilité, entraînant chaque année la mort de millions de personnes faute d'accès à une eau saine.

Devant cette réalité préoccupante, le suivi régulier de la qualité des eaux s'impose comme un enjeu sanitaire et environnemental majeur. Ce contrôle permet d'anticiper les dangers, de protéger la santé des populations, et de garantir une exploitation équilibrée de la ressource, aussi bien pour la consommation domestique que pour les besoins agricoles et industriels **(Lazhar, 2008)**.

Dans cette optique, la présente étude vise à explorer la caractérisation microbiologique et l'évaluation de l'indice de contamination de pollution microbiologique des eaux de source d'Ain Bouglez –Bouteldja, situé dans la wilaya d'El Tarf. Ce site, d'une importance stratégique pour l'approvisionnement en eau de la région, constitue un point de repère pertinent pour l'analyse de l'état environnemental des ressources hydriques.

Afin d'atteindre cet objectif, le travail s'articule autour de deux axes majeurs :

-Le premier chapitre est dédié aux fondements généraux relatifs à l'eau, en mettant l'accent sur ses rôles essentiels ainsi que sur les problématiques liées à sa pollution sous diverses formes.

-Le deuxième chapitre s'attarde sur l'évaluation de la qualité de l'eau à travers l'analyse approfondie de plusieurs paramètres physico-chimiques déterminants dans l'appréciation de son état.

-Le troisième chapitre offre une vue d'ensemble sur le cadre géographique de la zone d'étude, tout en décrivant de manière détaillée les matériaux, les outils ainsi que les méthodes scientifiques mises en œuvre pour la collecte et l'analyse des données.

-Le quatrième chapitre présente de façon structurée les résultats expérimentaux obtenus, accompagnés d'une interprétation critique fondée sur des observations précises et une mise en perspective des valeurs mesurées.

-Enfin, une conclusion générale viendra synthétiser les principales observations de cette recherche, tout en proposant des pistes de réflexion pour la protection et la valorisation durable des ressources en eau dans la région.



Chapitre I :
Aspects généraux de l'eau

Chapitre I : Aspects généraux de l'eau

I. L'eau :

I.1. Définition de l'eau :

L'eau (H_2O), bien qu'apparente comme une substance ordinaire du fait de son absence de couleur, d'odeur et de goût, constitue l'un des composés les plus essentiels à la vie. Présente en abondance sur Terre, elle recouvre environ 71 % de la surface du globe (UNESCO, 2019). Elle joue un rôle fondamental dans la régulation climatique, le métabolisme des êtres vivants, ainsi que dans les processus physico-chimiques naturels.

Sur le plan biologique, l'eau est un constituant principal des cellules vivantes, pouvant représenter jusqu'à 90 % de leur masse, selon le type d'organisme (Chaplin, 2001). Chez certains êtres unicellulaires, cette proportion peut même atteindre 97 %, soulignant l'importance vitale de ce liquide dans le maintien de l'équilibre interne et des fonctions cellulaires (McDonald, 1988).



Figure 01 : L'eau.

I.2. Composition de l'eau :

L'eau chimiquement pure est constituée uniquement de molécules d' H_2O . Toutefois, une telle forme d'eau n'existe pas naturellement dans l'environnement. En raison de son absence totale de minéralisation, cette eau est inadaptée à la consommation humaine, car elle peut perturber l'équilibre électrolytique de l'organisme. En effet, les eaux naturelles renferment diverses substances dissoutes, notamment des sels minéraux issus des formations géologiques traversées par l'eau au cours de son cycle.

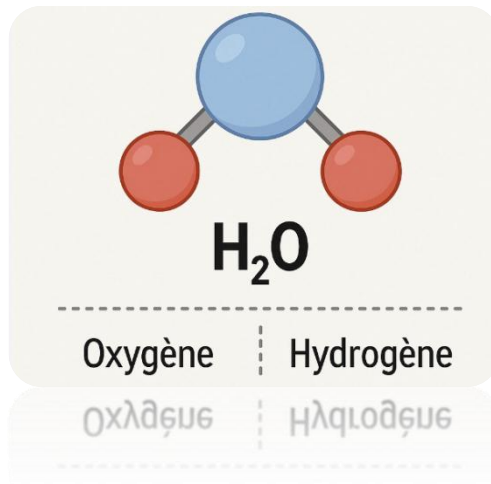


Figure 02 : La molécule d'H₂O.

Pour être considérée comme potable, l'eau doit contenir une certaine quantité de minéraux dissous. L'organisme humain tolère une large variation dans la composition minérale de l'eau, car nos cellules et notre sang sont eux-mêmes riches en électrolytes. En revanche, une eau totalement déminéralisée (comme l'eau distillée) est néfaste à la santé : un phénomène d'osmose peut alors entraîner la migration des sels présents dans les cellules vers cette eau, provoquant ainsi une diminution dangereuse de leur concentration dans le corps.

I.2.1. Les sels minéraux :

Les sels minéraux dissous dans l'eau sont constitués d'ions : des cations (chargés positivement) et des anions (chargés négativement). Parmi les principaux ions présents dans les eaux naturelles, on retrouve :

- **Les cations :**

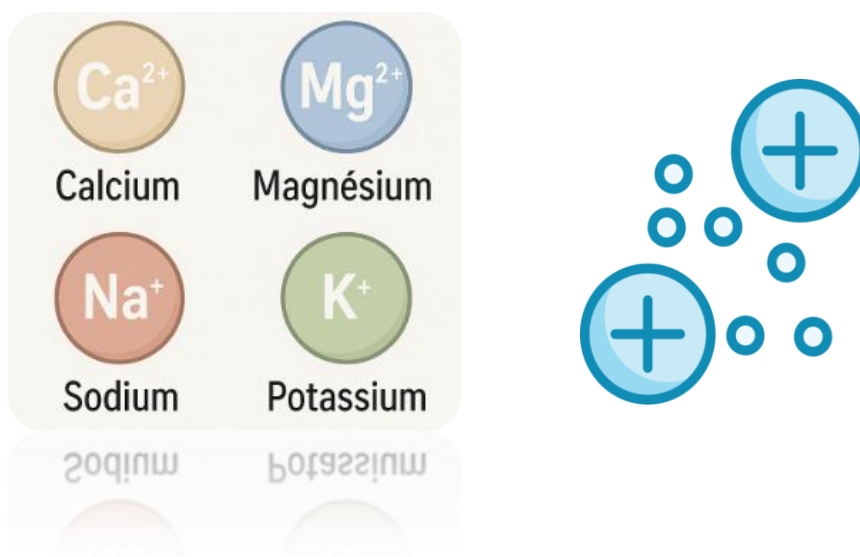


Figure 03 : Les cations.

- **Les anions :**

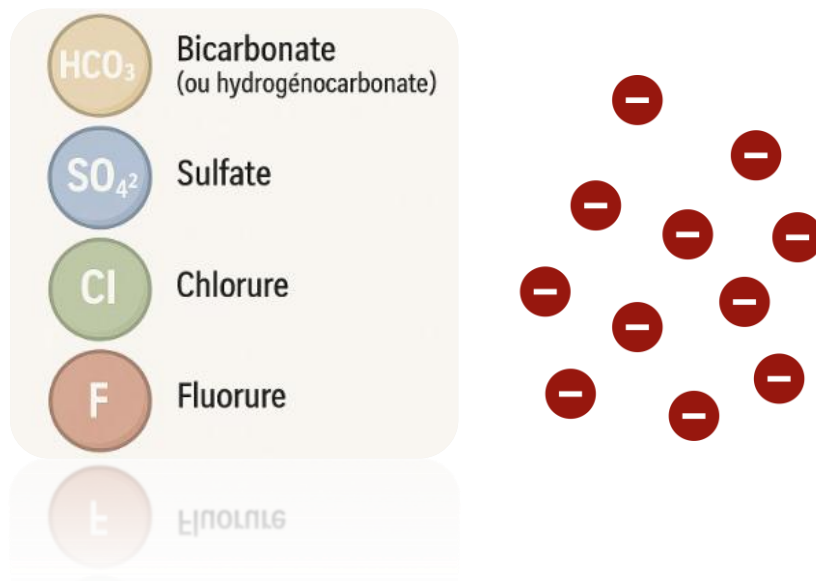


Figure 04 : Les anions.

Ces ions sont, pour la plupart, bénéfiques ou neutres lorsqu'ils sont présents à des concentrations modérées, généralement comprises entre quelques milligrammes par litre (mg/L) et quelques centaines de mg/L.

Toutefois, une attention particulière doit être portée au fluorure (F⁻) et au nitrate (NO₃⁻) : à fortes concentrations, le fluorure peut avoir des effets néfastes sur la santé, et le nitrate, bien que sans danger pour l'adulte, peut entraîner des complications graves chez le nourrisson, comme la méthémoglobinémie.

I.2.2. Autres minéraux et oligo-éléments :

Outre les sels minéraux majeurs, les eaux naturelles contiennent également des éléments traces ou oligo-éléments, généralement présents à de très faibles concentrations. Il s'agit principalement de métaux tels que :

- Fer (Fe)
- Zinc (Zn)
- Cuivre (Cu)

À faibles doses, ces métaux sont considérés comme bénéfiques pour la santé. En revanche, certains métaux lourds sont toxiques même à faibles concentrations, comme le plomb (Pb), le cadmium (Cd) ou l'uranium (U).

Par ailleurs, d'autres substances minérales non métalliques peuvent également être toxiques selon leur concentration. C'est notamment le cas de :

- L'arsenic (As)
- Le sélénium (Se)

- Le bore (B)

Le terme oligo-élément est souvent employé pour désigner ces éléments présents à l'état de traces, sans qu'une définition scientifique stricte ne soit généralement établie. Leur effet bénéfique ou toxique dépend étroitement de la concentration et du contexte physiologique.

I.2.3 Autres substances naturelles dissoutes :

Enfin, l'eau contient également d'autres composés naturels dissous, non minéraux, parmi lesquels :

- L'oxygène dissous (O_2), essentiel à la respiration des organismes aquatiques.
- Le dioxyde de carbone (CO_2), responsable de l'effervescence naturelle de certaines eaux comme l'eau minérale Perrier.
- La silice (SiO_2), issue de la dissolution des roches siliceuses.

I.3. Les différentes catégories d'eau :

I.3.1. L'eau du robinet :

L'eau potable distribuée à travers les réseaux municipaux, communément appelée « eau du robinet », est destinée à la consommation humaine après un traitement rigoureux. Elle provient généralement d'eaux de surface ou souterraines, puis est soumise à plusieurs étapes de purification afin de répondre aux normes de qualité sanitaire (OMS, 2017). Sa composition en sels minéraux peut varier selon l'origine géographique, influençant parfois légèrement son goût (Mackenzie et al., 1981).



Figure 05 : L'eau du robinet.

I.3.2. L'eau de source :

L'eau de source est une eau naturellement potable, issue de nappes souterraines protégées contre les contaminations. Elle est embouteillée à la source et doit répondre à des critères de

qualité définis par les réglementations locales ou internationales. Bien qu'elle ne nécessite pas obligatoirement un traitement poussé, elle est soumise à des contrôles réguliers afin d'en garantir la stabilité microbiologique (OMS, 1998).



Figure 06 : L'eau de source.

I.3.3. L'eau minérale naturelle :

L'eau minérale est extraite de formations souterraines profondes. Elle se distingue par sa composition constante en sels minéraux et oligo-éléments, conférée par la nature géologique du sol traversé. Certaines eaux minérales contiennent également des gaz naturels comme le dioxyde de carbone. Ces caractéristiques leur confèrent souvent des propriétés bénéfiques reconnues pour la santé (AFSSA, 2008).

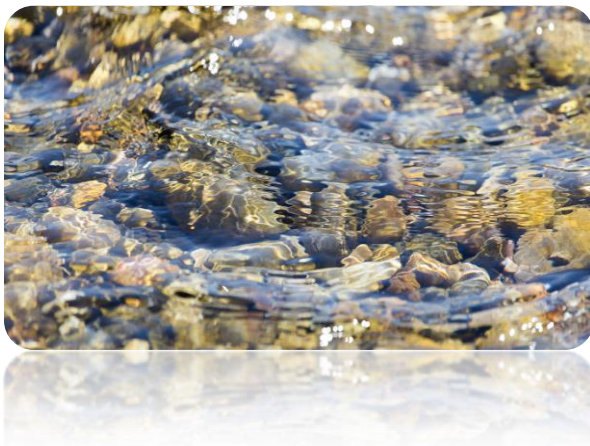


Figure 07 : L'eau minérale naturelle.

I.3.4. L'eau souterraine :

Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des précipitations à travers les sols et les roches, jusqu'à atteindre les nappes aquifères. Ce type d'eau constitue une ressource majeure, notamment dans les régions arides. Cependant, elle peut être sujette à des contaminations par

infiltration de polluants agricoles, domestiques ou industriels, ce qui exige une surveillance régulière (Baudrillard, 1970 ; Margat, 2004).

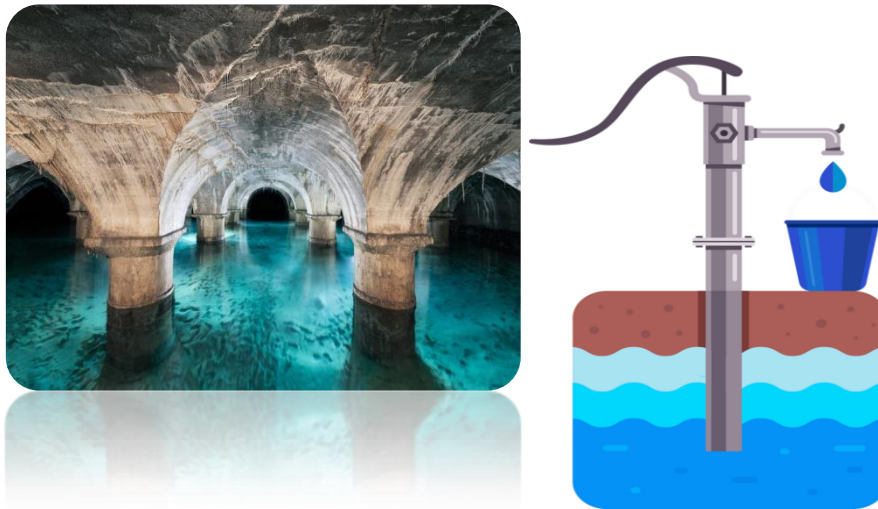


Figure 08 : L'eau souterraine.

I.3.5. L'eau de surface :

Ce terme englobe l'ensemble des masses d'eau visibles à la surface de la Terre, telles que les rivières, les lacs, les fleuves et les océans. Ces eaux sont directement influencées par les conditions météorologiques et les activités humaines. Elles jouent un rôle crucial dans le cycle hydrologique, servant de source pour l'approvisionnement en eau potable et l'irrigation (Gleick, 1993).



Figure 09 : L'eau de surface.

I.4. Cycle de l'eau :

Le **cycle de l'eau**, également connu sous le nom de **cycle hydrologique**, désigne l'ensemble des processus naturels assurant la circulation continue de l'eau entre ses divers réservoirs sur Terre. Cette eau peut se trouver sous forme **liquide**, **solide** ou **gazeuse**, et circule entre les **océans**, l'**atmosphère**, les **lacs**, les **cours d'eau**, les **nappes phréatiques** et les **glaciers**.

Ce mécanisme dynamique est principalement **alimenté par l'énergie solaire**, qui joue un rôle central en favorisant notamment l'évaporation de l'eau à la surface des océans et des continents, initiant ainsi l'ensemble du processus.

Et c'est à partir de cette base que nous souhaitons à présent détailler les différentes étapes de ce cycle naturel :

I.4.1. L'Évaporation :

L'évaporation est le processus par lequel l'eau liquide se transforme en vapeur sous l'effet de la chaleur solaire. Ce phénomène se produit principalement à la surface des océans, des lacs et des zones humides. Il représente la principale source de vapeur d'eau atmosphérique (**Chow et al. 1988**).

I.4.2. La Transpiration et l'Évapotranspiration :

Les végétaux libèrent également de la vapeur d'eau par leurs feuilles, un processus appelé transpiration. Lorsqu'on combine cette dernière avec l'évaporation, on parle d'évapotranspiration (**Allen et al. 1998**). Ce phénomène dépend fortement des types de cultures, du climat local et de la disponibilité en eau dans le sol.

I.4.3. La Condensation :

Lorsque la vapeur d'eau monte dans l'atmosphère, elle se refroidit à des altitudes plus élevées. Elle se transforme alors en fines gouttelettes, formant les nuages (**Lutgens & Tarbuck, 2010**). Cette étape s'appelle la condensation et est influencée par la température et la pression.

I.4.4. Les Précipitations :

Lorsque les gouttelettes contenues dans les nuages deviennent trop lourdes, elles tombent sous forme de pluie, de neige ou de grêle selon la température ambiante (**Pidwirny, 2010**). Ces précipitations constituent la principale voie de retour de l'eau atmosphérique vers la surface terrestre.

I.4.5. Le Ruissellement :

L'eau qui ne s'infiltre pas dans le sol s'écoule à la surface, formant des ruisseaux, des rivières ou des torrents. Ce processus s'appelle le ruissellement (**Ward & Robinson, 2000**). Il dépend de la pente du terrain, de la nature du sol et de la couverture végétale.

I.4.6. L'Infiltration et les Nappes Souterraines :

Une partie de l'eau précipitée pénètre dans le sol, un phénomène appelé infiltration. Elle alimente les nappes phréatiques, réservoirs d'eau souterraine essentiels (**Fetter, 2001**). La vitesse et la profondeur de cette infiltration dépendent de la porosité et de la perméabilité du sol.

I.4.7. Le Retour aux Océans :

L'eau infiltrée ou ruisselée retourne finalement vers les océans, complétant ainsi le cycle de l'eau (Gleick, 1993). Ce retour peut s'effectuer via les fleuves, les nappes ou par écoulement souterrain.

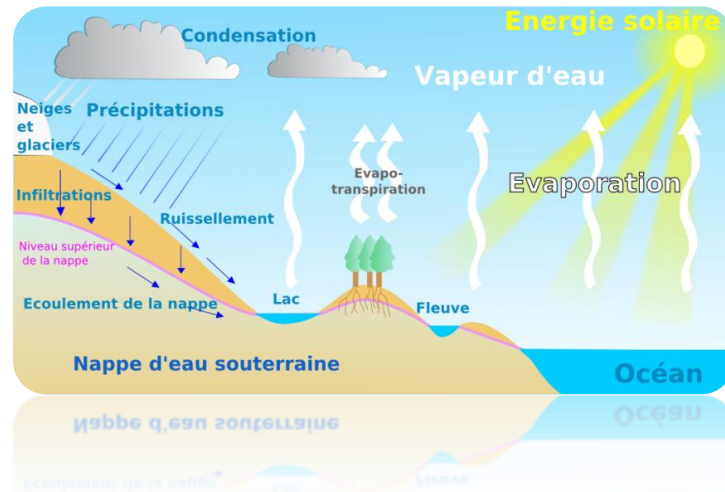


Figure 10 : Le cycle hydrologique.

I.5. Les états physiques de l'eau :

I.5.1. État solide :

L'eau passe à l'état solide lorsque sa température descend en dessous de 0 °C. Sous cette forme, elle se manifeste par la glace, la neige ou le givre. Les calottes polaires et les glaciers terrestres représentent environ 2 % du volume total de l'eau sur Terre (Merouani & Bouguedah, 2013).



Figure 11 : L'état solide d'eau.

I.5.2. État liquide :

L'état liquide de l'eau est le plus courant sur la planète. Il comprend les océans, les mers, les rivières, les lacs et les eaux souterraines. Tandis que les océans et mers représentent environ 97 % de l'eau terrestre (salée), les eaux douces (rivières, lacs, nappes phréatiques) ne représentent qu'environ 2,5 % de cette quantité (GRAINI, 2011 ; FAO, 2020).

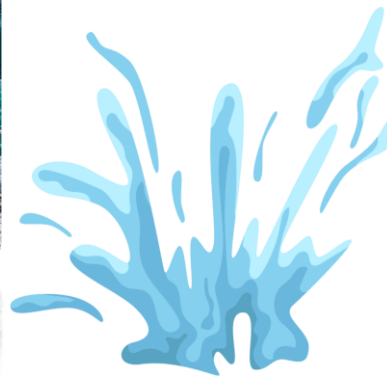


Figure 12 : L'état liquide d'eau.

I.5.3. État gazeux :

Sous forme de vapeur d'eau, l'eau est présente dans l'atmosphère, bien que de manière bien plus limitée. Ce gaz invisible participe aux phénomènes météorologiques comme la formation des nuages et des précipitations. L'eau atmosphérique représente une fraction infime du volume total de l'eau planétaire (Merouani & Bouguedah, 2013).

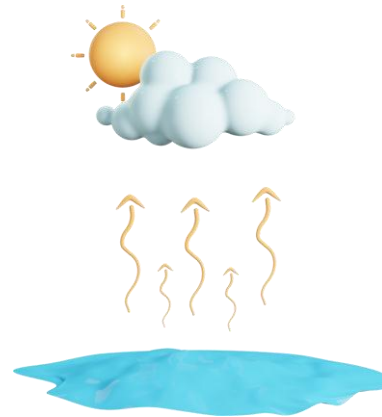


Figure 13 : L'état gazeux.

I.6. Propriétés physico-chimiques de l'eau :

L'eau, élément fondamental de la biosphère, ne revêt pas la même signification selon les disciplines. Elle se distingue par des propriétés physiques, chimiques et biologiques exceptionnelles. Elle peut changer d'état (fusion, ébullition, évaporation, condensation), se mélanger à d'autres substances et interagir avec divers composés. Rappelons que la molécule représente la plus petite unité d'un corps pur pouvant exister à l'état libre, formée par l'association d'atomes. Elle conserve l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques de ce corps.

I.6.1. Propriétés physiques de l'eau :

Sur notre planète, l'eau se manifeste majoritairement sous forme liquide. Elle possède des propriétés physiques uniques qui jouent un rôle capital dans le maintien de la vie et la régulation climatique.

I.6.1.1. Point d'ébullition :

Les liaisons hydrogène qui unissent fortement les molécules d'eau à l'état liquide et solide nécessitent une importante quantité d'énergie pour être rompues. C'est ce phénomène qui confère à l'eau un point d'ébullition anormalement élevé au regard de sa masse molaire (100 °C à pression atmosphérique). Cette propriété permet à l'eau de rester liquide dans la gamme de températures que connaît la Terre, condition indispensable à l'émergence et à la pérennité de la vie.

I.6.1.2. Viscosité :

La viscosité de l'eau varie en fonction de sa température et de sa composition ionique. Cette variation peut entraîner des phénomènes de non-miscibilité entre deux masses d'eau, un facteur déterminant dans la dynamique des courants océaniques, eux-mêmes essentiels à la régulation du climat mondial.

I.6.1.3. Pouvoir solvant :

L'eau est qualifiée de solvant universel, car elle dissout une grande variété de substances minérales et organiques. Cette capacité lui permet de transporter des ions, des gaz et des molécules dans tous les milieux naturels.

I.6.1.4. Tension superficielle :

La tension superficielle élevée de l'eau résulte des forces de cohésion entre ses molécules. Elle permet la formation de gouttelettes et favorise des phénomènes tels que la capillarité, essentielle pour la montée de l'eau dans les végétaux.

I.6.1.5. Chaleur spécifique :

L'eau possède une chaleur spécifique très élevée : $4\,185 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, ce qui signifie qu'il faut une grande quantité d'énergie pour modifier sa température. Cette propriété confère à l'eau un rôle de régulateur thermique, capable d'absorber ou de restituer de la chaleur sans variation brutale de température.

I.6.1.6. Chaleur latente :

Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation de l'eau sont également élevées. Lors de l'évaporation, l'énergie nécessaire est prélevée sur l'environnement immédiat, induisant un refroidissement naturel de celui-ci (comme c'est le cas pour les océans). L'eau agit donc comme un tampon thermique, limitant les extrêmes climatiques.

I.6.1.7. Capacité thermique :

La grande capacité thermique de l'eau permet aux masses aqueuses (océans, lacs) de stabiliser les écarts de température entre le jour et la nuit ou entre les saisons, atténuant ainsi les variations climatiques brutales.

I.6.1.8. Transparence :

L'eau est transparente dans le spectre visible, ce qui permet la pénétration de la lumière et le développement de la vie photosynthétique dans les milieux aquatiques. Cependant, elle absorbe rapidement les rayonnements infrarouges, limitant le réchauffement aux couches superficielles.

I.6.2. Propriétés chimiques de l'eau :

L'eau est un **milieu réactionnel** fondamental. Elle dissout une grande variété de substances : sels, gaz, acides, bases et composés organiques. Tous les processus biochimiques vitaux s'effectuent en milieu aqueux. Les organismes vivants sont constitués majoritairement d'eau (parfois plus de 90 % de leur masse).

Longtemps considérée comme un solvant inerte, l'eau est en réalité chimiquement réactive. Elle peut altérer les matériaux qui la contiennent (ex. : passage d'ions Si^{4+} dans l'eau à partir du verre). Même l'eau distillée, bien qu'exempte de contaminants microbiens, contient des traces d'ions ou de substances organiques issues des récipients ou des canalisations.

Sur le plan chimique, l'eau peut se dissocier en ions hydrogène (H^+) – généralement associés à H_2O pour former les ions hydronium H_3O^+ – et en ions hydroxyle OH^- . Le rapport entre ces deux espèces détermine le pH (potentiel hydrogène) de la solution. Certaines réactions redox permettent aussi à des métaux réducteurs de libérer du dihydrogène (H_2) par décomposition de l'eau, accompagnée de la formation d'hydroxydes métalliques.

I.6.3. Propriétés biologiques de l'eau :

L'eau, avec l'oxygène et le dioxyde de carbone, constitue un élément fondamental au bon fonctionnement des systèmes biologiques. Elle est le support de nombreux échanges dans le cadre du cycle biogéochimique.

Elle représente le principal constituant des organismes vivants, notamment du protoplasme cellulaire. Elle est également abondante dans notre alimentation : la teneur en eau des viandes, fruits et légumes varie entre 70 % et 95 %.

Ce rôle central dans la composition et le fonctionnement des êtres vivants justifie pleinement l'assertion selon laquelle « l'eau, c'est la vie ». Elle intervient dans

d'innombrables mécanismes biologiques, assurant la stabilité cellulaire, le transport des nutriments, l'élimination des déchets, et bien plus encore.

I.7. La pollution de l'eau :

La pollution de l'eau désigne toute modification défavorable de ses caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou bactériologiques, résultant des activités humaines. Cette altération compromet les conditions de vie des organismes aquatiques, aussi bien la faune que la flore.

En effet, les rejets d'eaux contaminées entraînent une dégradation significative des ressources hydriques, impactant gravement l'environnement et exposant les populations à des risques accrus de pénurie.



Figure 14 : Eau polluée.

I.7.1. Les principales sources de pollution de l'eau :

I.7.1.1. Pollution d'origine industrielle :

Les activités industrielles sont responsables du rejet d'une grande variété de substances polluantes dans les rivières et les nappes phréatiques, parfois à des concentrations si élevées que leurs effets à long terme restent mal connus. Ces rejets peuvent contenir des composés solubles ou insolubles, d'origine minérale ou organique, présentant un caractère plus ou moins biodégradable, voire une toxicité importante même à très faible dose.



Figure 15 : Pollution industrielle.

I.7.1.2. Pollution issue de l'agriculture :

L'agriculture moderne fait appel à des fertilisants chimiques (azotés et phosphorés) ainsi qu'à des produits phytosanitaires destinés à protéger les cultures. En cas d'usage excessif, ces substances toxiques peuvent contaminer les eaux de surface et les nappes souterraines, notamment lors des épisodes pluvieux qui favorisent leur infiltration.



Figure 16 : Pollution agricole.

I.7.1.3. Pollution domestique :

Les eaux usées issues des zones urbaines contiennent principalement des matières organiques biodégradables, mais elles sont également riches en germes pathogènes et en produits chimiques, tout en étant fortement consommatrices d'oxygène, ce qui compromet l'équilibre des milieux aquatiques.



Figure 17 : Les eaux usées (pollution domestique).

I.7.1.4. Pollution liée aux eaux de ruissellement :

Les eaux de pluie peuvent également devenir vectrices de pollution. En traversant l'atmosphère, elles se chargent de polluants présents dans l'air, notamment des particules issues des fumées industrielles, avant d'atteindre les sols ou les réseaux d'eaux usées.



Figure 18 : Pollution liée aux eaux de ruissellement.

I.7.1.5. Pollution d'origine naturelle :

Certaines substances naturellement présentes dans le milieu géologique peuvent altérer la qualité de l'eau potable. Des composés inorganiques tels que le baryum, l'arsenic, le fluor, le sodium, les chlorures, le mercure, le cadmium ou encore les cyanures peuvent contaminer les eaux, en particulier les nappes souterraines qui sont vulnérables en présence de formations géologiques riches en métaux.



Figure 19 : Les polluants d'origine naturelle :
(les incendies de forêts, les éruptions volcaniques).

I.7.2. Les grands types de polluants de l'eau :

I.7.2.1. Les polluants physiques :

Ce type de pollution correspond à l'entraînement par l'eau d'éléments solides. On distingue plusieurs catégories selon leur nature et leur taille : les débris grossiers, les sables, et les matières en suspension (MES).



Figure 20 : Les polluants phasiques : (les bouteilles).

I.7.2.2. Les polluants chimiques :

La pollution chimique est plus complexe et multiforme. Elle peut provenir de diverses sources et se divise en deux grandes catégories :

- Les substances chimiques minérales (métaux lourds, sels, etc.)
- Les composés chimiques organiques (pesticides, hydrocarbures, etc.)



Figure 21 : Les polluants chimiques (pesticides, engrais).

I.7.2.3. Les polluants biologiques :

L'eau peut héberger divers agents pathogènes tels que des virus, des bactéries et des parasites. Ces micro-organismes représentent un danger pour la santé humaine et limitent considérablement les possibilités d'utilisation de l'eau.



Figure 22 : Les polluants biologiques (les virus, les moisissures).

I.8. Les mécanismes de contamination des ressources hydriques :

I.8.1 Les eaux de surface :

Depuis toujours, les cours d'eau ont servi de réceptacles naturels aux déchets générés par les activités humaines. Au XIXe siècle, ils recevaient principalement les rejets issus de l'exploitation minière et de l'industrialisation, auxquels se sont ensuite ajoutés ceux liés à l'urbanisation croissante, à l'agriculture intensive et à la production énergétique. Cette pression continue a entraîné une dégradation notable de la qualité des eaux superficielles. Face à cette situation, des mesures ont été mises en place, telles que des techniques de dépollution, des stratégies de protection des milieux aquatiques et des révisions des procédés industriels, dans le but de réduire, voire de supprimer les rejets polluants (**Bordet, 2007**).

Les pesticides, en particulier, représentent une menace importante. Ils contaminent les eaux de surface par ruissellement et atteignent les nappes souterraines par infiltration, surtout lors d'épisodes de fortes pluies favorisant le lessivage des sols. La contamination peut survenir directement, ou indirectement par les eaux de ruissellement et les retombées atmosphériques (**Villagines, 2003**).

I.8.2 Les eaux souterraines :

Autrefois considérées comme des sources d'eau pure, protégées naturellement par les couches de sol, les eaux souterraines sont aujourd'hui de plus en plus exposées à la pollution. Cette vulnérabilité croissante est principalement due à l'infiltration de substances nocives, telles que les nitrates et les produits phytosanitaires, reconnus comme étant parmi les contaminants les plus répandus (**Bouziani, 2000**).

La dégradation des nappes phréatiques résulte des activités domestiques, agricoles et industrielles. Elle peut provenir de rejets directs sous forme d'effluents ou de contaminations indirectes par les excès d'engrais et de pesticides. Par ailleurs, le phénomène de lixiviation des déchets constitue une source diffuse de pollution dont l'impact ne cesse de croître (**Bordet, 2007**).



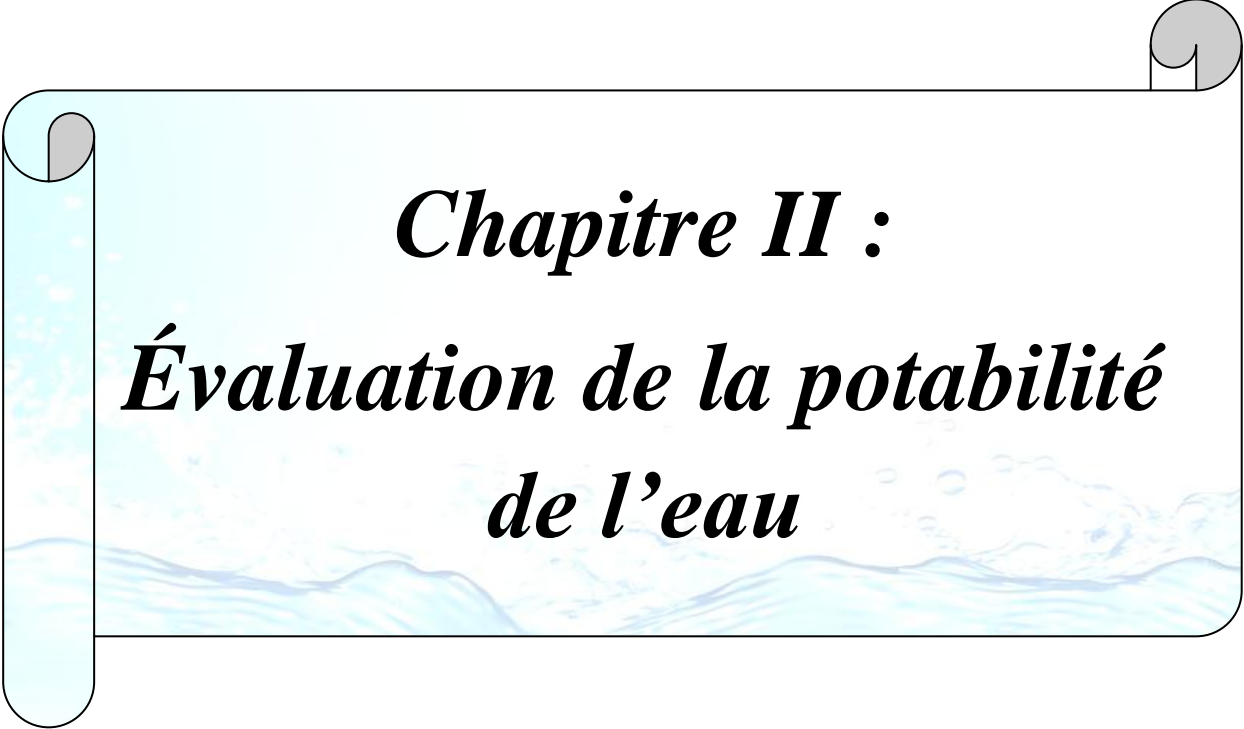
Figure 23 : Les mécanismes de contamination des ressources hydriques.

I.9. Procédés de purification des eaux de source :

L'évaluation de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine constitue une étape primordiale, car elle permet de détecter la présence éventuelle de substances chimiques ou de micro-organismes susceptibles de nuire à la santé publique. Avant toute distribution, cette eau doit impérativement satisfaire aux exigences fixées par les normes de potabilité (**Funasa, 2013**).

Les eaux issues des nappes souterraines ainsi que celles provenant des milieux de surface font l'objet de vérifications systématiques de leurs paramètres physico-chimiques, biologiques et microbiologiques. Ces analyses sont encadrées par une réglementation spécifique définissant les protocoles de prélèvement et de traitement des échantillons (**Article 69, Journal officiel de la République algérienne, 2005**).

En Algérie, les eaux de source subissent exclusivement des traitements de désinfection, dont le but principal est d'éliminer les agents pathogènes tout en assurant la présence d'un résidu désinfectant au sein du réseau de distribution. Ce dernier agit comme une barrière préventive contre une éventuelle recontamination d'origine bactérienne. Parmi les techniques couramment utilisées figurent la chloration, l'ozonation, ainsi que l'exposition aux rayons ultraviolets, reconnues pour leur efficacité dans l'inactivation des micro-organismes indésirables.



Chapitre II :
Évaluation de la potabilité
de l'eau

Chapitre II : Évaluation de la potabilité de l'eau

I. Normes de potabilité de l'eau :

La potabilité d'une eau est évaluée par l'analyse quantitative et qualitative de différents paramètres physico-chimiques et biologiques. Pour chacun de ces paramètres, une concentration seuil est établie : une limite supérieure à ne pas franchir, ainsi qu'une limite inférieure en deçà de laquelle la qualité de l'eau peut être altérée. Le dépassement de ces valeurs constitue une non-conformité par rapport aux standards réglementaires définis par les autorités sanitaires (**Dupont et al., 2018**).

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS), dans ses directives internationales relatives à la qualité de l'eau potable, ne prescrit pas des normes rigides, mais propose des valeurs guides. Celles-ci sont conçues pour servir de repères adaptables en fonction des contextes locaux, tout en visant la protection optimale de la santé publique (**OMS, 2022**).

Une eau est qualifiée de potable lorsqu'elle satisfait l'ensemble des exigences légales en vigueur, garantissant ainsi qu'elle ne présente aucun danger immédiat ou à long terme pour la santé humaine (**Kraemer, 2019**). Ces exigences se répartissent en six grandes catégories de paramètres :

- Organoleptiques (saveur, odeur, couleur, turbidité)
- Physico-chimiques (température, pH, conductivité, dureté, etc.)
- Bactériologiques (présence de micro-organismes pathogènes)
- Indicateurs de pollution (nitrates, phosphates, etc.)
- Substances indésirables (fer, manganèse, ammonium, etc.)
- Substances toxiques (métaux lourds, pesticides, hydrocarbures, etc.) (**Lemoine et al., 2020**)

Les caractéristiques sensorielles de l'eau telles que la couleur, l'odeur, le goût ou encore la transparence, bien qu'importantes pour l'acceptabilité par le consommateur, n'ont pas nécessairement d'incidence directe sur la salubrité. Ainsi, une eau présentant une légère turbidité ou une odeur de chlore peut parfaitement respecter les critères microbiologiques et chimiques de potabilité (**Rodier, 2021**).

I.1.Paramètres organoleptiques :

Les paramètres organoleptiques regroupent les caractéristiques sensorielles de l'eau telles que la saveur, l'odeur, la couleur et la transparence. Bien qu'ils ne revêtent pas de signification sanitaire directe, toute altération de ces propriétés peut constituer un indicateur précoce de contamination ou de dysfonctionnement des infrastructures de traitement. Une eau destinée à la consommation humaine doit impérativement être claire, limpide, bien oxygénée, et ne doit présenter ni goût ni odeur incommode (**Rodier, 2005**).

I.1.1.Mesure de la Couleur :

La coloration de l'eau résulte généralement de la présence de matières organiques colorées en suspension, de composés métalliques dissous (tels que le fer ou le manganèse), ou encore de rejets industriels. Un changement anormal de la teinte de l'eau constitue fréquemment un indice de pollution de la ressource ou de dégradation du réseau de distribution (**Lucet La Gardette, 2009 ; Savary, 2010**).

Il convient de distinguer la couleur apparente, influencée par les particules en suspension, de la couleur réelle, qui correspond uniquement aux substances dissoutes dans l'eau, mesurée après élimination complète de la turbidité (**Savary, 2010**).



Figure 24 : La mesure de la couleur d'eau.

I.1.2.Evaluation de l'odeur :

La présence d'odeur dans l'eau est souvent révélatrice d'une pollution organique, résultant notamment de la décomposition de matières organiques, ou de substances volatiles d'origine anthropique.

L'odeur c'est l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif lors de l'inhalation de composés volatils spécifiques, une perception sensorielle spécifique induite par des molécules odorantes, pouvant être naturelles ou issues de rejets chimiques (**Rodier, 2005**).



Figure 25 : L'évaluation de l'odeur d'eau.

I.1.3.Évaluation de saveur et goût :

Le goût de l'eau est le résultat d'une interaction complexe entre les stimulations gustatives, olfactives et chimico-sensorielles perçues au moment de l'ingestion.

La saveur, quant à elle, est définie comme l'ensemble des sensations spécifiques provoquées par certaines substances solubles lorsqu'elles stimulent directement les bourgeons gustatifs de la cavité buccale (**Rodier, 2005**).



Figure 26 : L'évaluation de saveur et goût d'eau (PH mètre).

I.1.4.Turbidité :

La turbidité désigne la propriété optique de l'eau liée à la présence de particules en suspension (argiles, limons, matières organiques, micro-organismes, etc.) qui diffusent ou absorbent la lumière, rendant l'eau visuellement trouble. Elle constitue un critère essentiel d'acceptabilité visuelle et peut traduire une contamination potentielle, notamment d'origine microbiologique (**Rodier, 2005**).

Du point de vue sanitaire, une turbidité élevée peut protéger les micro-organismes pathogènes de l'action des désinfectants, notamment du chlore, en limitant leur efficacité. C'est pourquoi l'OMS recommande que la turbidité de l'eau potable reste inférieure à 5 unités NTU (Nephelometric Turbidity Units), et idéalement en dessous de 1 NTU dans les réseaux bien gérés (**OMS, 2017**).

Une turbidité excessive peut également indiquer des anomalies dans le traitement ou la distribution de l'eau (pannes de filtres, infiltrations, fuites), rendant ce paramètre un indicateur indirect de sécurité sanitaire (**Savary, 2010**).



Figure 27 : L'évaluation de la turbidité d'eau (Turbidimètre).

Tableau II.1 : Normes des paramètres organoleptiques d'une eau potable.

Paramètre organoleptique	Valeur guide (ou seuil recommandé)	Observation	Référence OMS
Couleur	≤ 15 unités Pt-Co (UIC).	L'eau doit être incolore ou légèrement teintée.	OMS, 2017
Turbidité	≤ 5 unités NTU (turbidité néphélométrique).	Une eau claire est essentielle pour l'acceptabilité visuelle.	OMS, 2017
Odeur	Aucune odeur étrangère perceptible.	Une eau potable doit être sans odeur désagréable.	OMS, 2017
Goût	Aucun goût anormal.	L'eau doit être agréable au goût pour encourager sa consommation.	OMS, 2017
Température	Recommandée : 8 – 15 °C.	Température fraîche souhaitable pour la consommation humaine.	OMS, 2017
pH (lié à goût/corrosion)	6,5 – 8,5 (sans lien direct mais influent).	Un pH hors de cette plage peut affecter le goût et l'odeur.	OMS, 2017

I.2. Paramètres physico-chimiques :

Dans le cadre des normes relatives à la qualité de l'eau potable, seuls certains paramètres physico-chimiques font l'objet d'un suivi réglementaire strict, en particulier ceux dont les concentrations peuvent avoir un impact direct sur la santé humaine ou altérer sensiblement les caractéristiques sensorielles de l'eau (goût, odeur, limpidité). Ces paramètres sont encadrés par des concentrations maximales admissibles (CMA), définies selon des critères scientifiques rigoureux.

L'évaluation de la qualité physico-chimique d'une eau repose sur l'analyse de plusieurs indicateurs essentiels tels que la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, la salinité, les solides dissous totaux, ou encore la concentration en certains éléments chimiques comme les nitrates, les fluorures, ou les métaux lourds. Chacun de ces paramètres peut, à des niveaux élevés, représenter un risque sanitaire ou affecter l'acceptabilité de l'eau par les consommateurs.

Ainsi, la comparaison des résultats d'analyses physico-chimiques avec les seuils réglementaires en vigueur constitue une étape fondamentale pour vérifier la conformité de l'eau aux normes de potabilité. Ces seuils sont généralement établis à partir de recommandations internationales (notamment celles de l'Organisation mondiale de la santé),

complétées par les directives spécifiques des autorités nationales compétentes. Une telle approche permet non seulement de garantir la sécurité sanitaire des populations, mais aussi de surveiller l'évolution de la qualité des ressources en eau face aux pressions anthropiques et environnementales (OMS, 2022 ; Directive 2020/2184/UE).

I.2.1. Paramètres physiques :

I.2.1.1. Température :

La mesure précise de la température de l'eau est primordiale, car ce paramètre influence directement la solubilité des sels et, plus particulièrement, celle des gaz dissous. Elle conditionne également les équilibres de dissociation des sels, ce qui a une incidence notable sur la conductivité électrique de l'eau (Rodier, 2005).

I.2.1.2. Turbidité :

La turbidité exprime le degré d'opacité de l'eau, causé par la présence de particules en suspension, telles que les argiles et autres matières fines. Elle constitue un indicateur de la clarté de l'eau, dont la valeur, pour des raisons sanitaires, doit rester inférieure à 5 NTU (Jean-Claude, 1983).

I.2.1.3. Salinité :

La salinité désigne la concentration massique des sels dissous dans un litre d'eau, exprimée en grammes par kilogramme. Elle est liée à la présence de solides ioniques, composés de cations et d'anions organisés de manière régulière dans un réseau cristallin. Ces solides ioniques, bien que chargés à l'échelle microscopique, sont globalement électriquement neutres. Leur formule chimique exprime la nature et le ratio des ions présents sans détailler leur agencement (Gaujous, 1995).

I.2.1.4. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique traduit la capacité d'une eau à transmettre un courant électrique, en raison de la présence d'ions dissous. Elle s'exprime généralement en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et constitue un bon indicateur de la minéralisation de l'eau (Guilbert, 2000).

I.2.1.5. Résidu sec :

Le résidu sec permet d'évaluer la concentration en substances dissoutes non volatiles, notamment les minéraux. Cette valeur varie selon l'origine géologique de l'eau : elle peut être inférieure à 100 mg/L dans le cas des eaux issues de régions granitiques, et dépasser 1000 mg/L pour des eaux circulant dans des formations sédimentaires riches en minéraux (Berne, 1991).

I.2.1.6. Potentiel hydrogène (pH) :

Le pH correspond à la mesure de la concentration en ions hydrogène (H^+) dans l'eau. Il permet de caractériser le niveau d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse. Les eaux naturelles, étant faiblement ionisées, présentent généralement un pH compris entre 7,2 et 7,6, une valeur influencée par la nature géologique des terrains traversés (**Rejseck, 2002; Geujons, 1995**).

I.2.1.7. Solides Dissous Totaux (TDS) :

Les TDS regroupent l'ensemble des substances inorganiques dissoutes dans l'eau, telles que les chlorures, sulfates, bicarbonates, ainsi que certains ions métalliques comme le calcium, le magnésium et le sodium. Ces substances proviennent de sources variées : altération des roches, rejets urbains et industriels, lessivage des terres agricoles et dépôts atmosphériques. Une concentration élevée en TDS peut altérer le goût de l'eau et favoriser l'entartrage des installations hydrauliques (**Rodier, 2005**).

I.2.2. Paramètres chimiques :

I.2.2.1. Oxygène dissous :

L'oxygène dissous (OD) désigne la quantité de dioxygène (O_2) présente en solution dans l'eau. Ce paramètre est fondamental pour évaluer la capacité d'auto-épuration d'un milieu aquatique ainsi que sa qualité écologique. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est fortement influencée par des facteurs tels que la température, la pression atmosphérique et la salinité. De manière générale, les eaux de surface, en raison de leur contact direct avec l'air, présentent des concentrations proches de la saturation, tandis que les eaux profondes, peu renouvelées et plus isolées de l'atmosphère, affichent souvent des teneurs nettement inférieures, généralement de l'ordre de quelques mg/L (**Organisation mondiale de la santé, 1987 ; Derwiche et al. 2010**).

I.2.2.2. Dureté totale (TH) :

La dureté totale de l'eau, ou titre hydrotimétrique (TH), est déterminée par la somme des concentrations en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), deux cations divalents caractéristiques des milieux carbonatés. Elle s'exprime généralement en mg/L de $CaCO_3$ et constitue un indicateur de la minéralisation de l'eau. Les cations alcalins ne sont pas pris en compte dans ce calcul. La dureté joue un rôle important dans le goût de l'eau et son interaction avec les matériaux des réseaux de distribution (**Ledler, 1986**).

I.2.2.3. Titre alcalimétrique (TA) :

Le titre alcalimétrique représente la concentration en bases fortes et faibles présentes dans l'eau, exprimée en méq/L ou en degrés français ($^{\circ}F$). Il est calculé à partir de la somme de la

concentration en ions hydroxyde (OH^-), de la moitié de celle en carbonate (CO_3^{2-}), et d'environ un tiers des phosphates, selon leur état de dissociation. Cette mesure permet d'apprécier la capacité neutralisante de l'eau vis-à-vis des acides (**Menadet & Metadjer, 2012**).

I.2.2.3. Titre alcalimétrique complet (TAC) :

Le TAC correspond à la mesure de la totalité des anions basiques présents dans l'eau, à savoir les ions hydroxyde (OH^-), carbonate (CO_3^{2-}) et hydrogénocarbonate (HCO_3^-). Lorsque le pH est inférieur à 8,3, la concentration en OH^- et CO_3^{2-} devient négligeable, et le TAC reflète alors principalement la teneur en bicarbonates. Cette mesure est essentielle pour estimer le pouvoir tampon de l'eau, c'est-à-dire sa résistance aux variations de pH (**Menadet & Metadjer, 2012**).

I.2.2.4. Cations majeurs :

a). Calcium (Ca^{2+}) :

Le calcium est un ion alcalino-terreux naturellement abondant dans les environnements géologiques, notamment sous forme de carbonates dans les formations calcaires. Il constitue le principal contributeur à la dureté de l'eau et se trouve principalement sous forme d'hydrogénocarbonates, ainsi que de sulfates ou chlorures en moindres proportions. Une eau de qualité acceptable contient généralement entre 200 et 250 mg/L en équivalent CaCO_3 . Une concentration excédant 500 mg/L peut poser des problèmes de précipitation et d'entartrage (**Rodier, 2005**).

b). Magnésium (Mg^{2+}) :

Le magnésium est également un composant essentiel de la dureté de l'eau. Il est libéré lors de la dissolution de minéraux présents dans les roches sédimentaires, et sa concentration dépend de la géologie locale. Bien qu'indispensable à faible dose, une forte teneur peut conférer à l'eau un goût amer indésirable (**Nouayti et al., 2015 ; Ayad & Kahoul, 2016**).

c). Sodium (Na^+) :

Le sodium est un cation alcalin omniprésent dans les milieux naturels sous forme d'ions libres Na^+ , souvent associé aux chlorures. Sa forte solubilité dans l'eau en fait un élément très mobile. Il est généralement présent à de faibles concentrations dans les eaux brutes, mais sa teneur peut fortement varier selon l'origine de l'eau. Lorsqu'elle dépasse 200 mg/L, la qualité organoleptique de l'eau peut être altérée (**Dupont et al., 2018**).

d). Potassium (K^+) :

Le potassium est moins abondant que le sodium dans les ressources en eau. Il est rarement

détecté à des concentrations supérieures à 20 mg/L. Il ne représente pas de danger pour la santé humaine, bien que l'isotope radioactif ^{40}K puisse constituer une source naturelle de radioactivité dans certains cas spécifiques.

I.2.2.5. Anions majeurs :

a). Chlorures (Cl^-) :

Les chlorures sont des anions inorganiques communs dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels tels que le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorure de potassium (KCl). Leur présence peut résulter de processus naturels ou anthropiques, tels que les rejets industriels ou les eaux usées. Des teneurs élevées peuvent impacter les écosystèmes aquatiques et servir d'indicateur de pollution (**Makhoukh, 2011**).

b). Sulfates (SO_4^{2-}) :

Les sulfates proviennent de la dissolution de minéraux comme le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), de l'oxydation des sulfures dans les roches, ou encore de sources anthropiques comme les détergents ou les effluents d'origine animale. La concentration maximale tolérée dans l'eau potable est de 250 mg/L. Des teneurs excessives peuvent entraîner des troubles digestifs et une corrosion des conduites (**Ghazali & Zaid, 2013**).

c). Bicarbonates (HCO_3^-) :

Les bicarbonates dérivent principalement de la dissolution des carbonates de calcium et de magnésium sous l'action du dioxyde de carbone dissous. Ils sont responsables de la dureté temporaire de l'eau. À des concentrations élevées, ils peuvent conférer un goût amer à l'eau. À basse température, le CO_2 dissous forme de l'acide carbonique (H_2CO_3), qui libère ensuite les ions HCO_3^- , selon des équilibres chimiques dépendant du pH (**Saidi, 2014**).

I.3. Paramètres bactériologiques :

I.3.1. Présence microbienne et importance de la surveillance :

La qualité microbiologique de l'eau potable repose sur l'absence absolue de microorganismes pathogènes, qu'il s'agisse de bactéries, virus ou parasites. La détection de ces agents pathogènes peut révéler une pollution d'origine fécale susceptible de déclencher des épidémies d'origine hydrique (**OMS, 2004**). Les analyses bactériologiques se fondent principalement sur le comptage de microorganismes aérobies mésophiles, témoins d'une éventuelle altération de la qualité de l'eau. Ce type d'évaluation s'avère fondamental, notamment pour contrôler la vulnérabilité des nappes phréatiques à la contamination (**Rodier et al. 2009**).

I.3.2. Coliformes totaux :

Les coliformes totaux sont un groupe d'entérobactéries, regroupant notamment les genres *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Citrobacter* et *Serratia*, largement répandus dans l'environnement (sol, végétation, eaux). Bien que la majorité des espèces soient non pathogènes, certaines souches d'*Escherichia coli* peuvent présenter un risque sanitaire (**Leclerc et al., 2001**).

Ce groupe bactérien est traditionnellement utilisé comme indicateur de contamination fécale potentielle, en raison de sa persistance dans les eaux comparables à celle de certains agents pathogènes (**Payment & Hunter, 2001**).

Sur le plan morphologique, ce sont des bacilles Gram négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, possédant l'enzyme β -galactosidase, responsable de l'hydrolyse des substrats chromogènes utilisés pour leur identification (**Rompré et al., 2002**).

I.3.3. Coliformes fécaux (ou thermotolérants) :

Les coliformes fécaux forment un sous-ensemble des coliformes totaux, caractérisés par leur aptitude à fermenter le lactose à 44,5 °C. L'espèce prédominante de ce groupe est *Escherichia coli*, représentant environ 80 à 90 % des isolats détectés (**Cabral, 2010**). Néanmoins, d'autres genres comme *Klebsiella* ou *Citrobacter* peuvent également y figurer. Ces bactéries témoignent généralement d'une pollution d'origine fécale, bien que certaines proviennent d'environnements enrichis en matière organique, tels que les effluents industriels (**WHO, 2011**).

Du fait de leur survie prolongée dans le milieu extérieur, les coliformes thermotolérants sont d'excellents traceurs pour évaluer l'intégrité des réseaux de distribution ainsi que l'efficacité des traitements d'épuration (**Edberg et al., 2000**). Contrairement aux coliformes totaux, leur faible prolifération dans les réseaux les rend plus fiables pour identifier une contamination récente.

I.3.4. Streptocoques fécaux :

Les streptocoques fécaux, ou entérocoques, appartiennent à la famille des Streptococcaceae, au genre *Streptococcus* (groupe sérologique D selon Lancefield). Ce sont des cocci ovoïdes, Gram positifs, généralement disposés en paires ou en chaînettes, se développant à 37 °C. Ces bactéries, homofermentaires, produisent de l'acide lactique à partir de glucides sans dégagement de gaz (**Leclerc et al., 1996**).

Les espèces les plus fréquemment identifiées sont *Streptococcus faecalis*, *S. faecium*, *S. bovis*, *S. equinus* et *S. avium*. Leur présence constitue un indicateur fiable d'une pollution fécale récente.

I.3.5.Demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ correspond à la quantité d'oxygène dissous nécessaire à l'oxydation biologique de la matière organique présente dans un échantillon d'eau, sur une durée de cinq jours à 20 °C, en présence d'un inoculum microbien standardisé. Ce paramètre est largement utilisé pour évaluer la charge organique biodégradable des eaux usées domestiques ou industrielles (Rodier et al., 2009).

Plus la DBO est élevée, plus l'eau contient de matière organique susceptible d'être dégradée par des microorganismes.

I.3.6.Demande chimique en oxygène (DCO) :

La DCO évalue la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder, à l'aide d'un oxydant chimique fort, l'ensemble des composés organiques — qu'ils soient biodégradables ou non — présents dans l'eau. Contrairement à la DBO, elle permet une estimation plus rapide et plus exhaustive de la charge polluante globale (APHA, 2017). Toutefois, elle ne renseigne pas sur la part biodégradable de cette matière.

I.4.Indicateurs de pollution :

Les indicateurs de pollution sont des substances présentes dans l'eau en raison d'activités anthropiques (agricoles, industrielles, domestiques) ou de phénomènes naturels. Bien qu'ils ne soient pas toujours directement toxiques pour l'être humain à faibles concentrations, leur présence traduit une dégradation de la qualité de l'eau et un risque potentiel pour la santé ou l'environnement.

I.4.1.Nitrates (NO₃⁻) :

Les nitrates proviennent principalement des engrais azotés agricoles, des rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, ainsi que de la décomposition de matières organiques azotées. Une concentration excessive dans l'eau de boisson (> 50 mg/L selon l'OMS) peut entraîner des pathologies graves, telles que la méthémoglobinémie chez les nourrissons (« syndrome du bébé bleu ») (OMS, 2017). Ils sont également soupçonnés d'avoir des effets cancérigènes par formation de nitrosamines dans l'organisme.

I.4.2.Nitrites (NO₂⁻) :

Les nitrites sont issus de la réduction des nitrates par des bactéries dans les milieux anaérobies. Leur toxicité est plus marquée que celle des nitrates et ils sont donc surveillés à des seuils plus stricts (généralement < 0,1 mg/L). Ils perturbent le transport de l'oxygène dans le sang et peuvent également contribuer à la formation de composés cancérigènes (Levallois et al., 2000).

I.4.3. Phosphates (PO_4^{3-}) :

Principalement dérivés des lessives, fertilisants et rejets organiques, les phosphates ne présentent pas de toxicité directe à faible dose, mais ils sont à l'origine de l'eutrophisation des milieux aquatiques. Ce phénomène provoque une prolifération excessive d'algues, suivie d'une diminution de l'oxygène dissous, menaçant la vie aquatique et altérant la qualité de l'eau (Rodier *et al.*, 2009).

I.4. Substances indésirables :

Les substances indésirables sont des composés naturellement présents dans certaines sources d'eau ou introduits par les activités humaines. À des concentrations modérées, elles n'induisent généralement pas de toxicité aiguë, mais peuvent affecter les qualités organoleptiques de l'eau et, dans certains cas, nuire à la santé à long terme.

I.4.1. Fer (Fe) :

Présent naturellement dans les nappes phréatiques, notamment en milieu réducteur, le fer peut altérer la couleur et le goût de l'eau au-delà de 0,3 mg/L. Bien qu'essentiel à faible dose, un excès peut favoriser le développement de biofilms et colmater les réseaux (OMS, 2017).

I.4.2. Manganèse (Mn) :

Souvent associé au fer, le manganèse est également d'origine naturelle. À des concentrations supérieures à 0,05 mg/L, il peut colorer l'eau, donner un goût métallique et s'accumuler dans les canalisations. Une ingestion prolongée à fortes doses a été associée à des troubles neurologiques (Frisbie *et al.*, 2012).

I.4.3. Ammonium (NH_4^+) :

L'ammonium est souvent le signe d'une contamination récente par des matières organiques. Il provient de la dégradation des protéines ou de rejets industriels. Sa présence à des concentrations élevées (> 0,5 mg/L) est incompatible avec une bonne désinfection à base de chlore, car il réagit avec celui-ci pour former des chloramines, moins efficaces (WHO, 2011).

I.5. Substances toxiques :

Les substances toxiques regroupent des composés exogènes dont la présence même à faibles concentrations constitue un danger avéré pour la santé humaine. Ces substances comprennent principalement les métaux lourds, les pesticides, et les hydrocarbures.

I.5.1. Métaux lourds :

Parmi les plus préoccupants figurent le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As). Ils proviennent de sources industrielles, de canalisations anciennes (plomb), ou de contaminations géologiques naturelles.

Leur accumulation dans l'organisme est responsable de néphrotoxicité, neurotoxicité, perturbations endocriniennes, et effets cancérigènes (**Järup, 2003**).

I.5.2.Pesticides :

Issus des activités agricoles, les pesticides (herbicides, fongicides, insecticides) pénètrent les nappes par ruissellement ou infiltration. L'exposition chronique à ces composés est associée à des troubles hormonaux, neurologiques et reproductifs. La norme européenne fixe une concentration maximale de **0,1 µg/L** pour chaque pesticide et **0,5 µg/L** pour le total des pesticides (**Directive 2020/2184/UE**).

I.5.3.Hydrocarbures :

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et autres dérivés pétroliers peuvent contaminer l'eau à la suite de déversements accidentels ou de rejets industriels. Plusieurs d'entre eux, comme le benzo[a]pyrène, sont classés comme cancérogènes probables ou certains (**IARC, 2012**). Leur présence est strictement limitée dans les eaux destinées à la consommation.



Chapitre III :
Matériel et Méthodes

Chapitre III : Matériel et Méthodes

Introduction

Dans un contexte mondial marqué par une prise de conscience croissante des enjeux liés à la santé et au bien-être, la consommation d'eau embouteillée connaît une progression remarquable. Cette tendance s'inscrit dans une quête de produits à la fois sûrs, naturels et bénéfiques pour l'organisme. En Algérie, ce phénomène se traduit par une consommation annuelle avoisinant les 2,7 milliards de litres d'eaux minérales, soit une moyenne de 63 litres par habitant, selon les données de l'Association des Producteurs Algériens de Boissons. Le marché, bien que concurrentiel, est largement dominé par cinq marques principales (Ifri, Saida, Lalla Khedidja, Guedila et Nestlé) qui concentrent à elles seules près de 70 % des parts de marché, malgré l'existence de plus d'une centaine d'opérateurs locaux (**Zella L. et al., 2024**).

L'eau, exprimée chimiquement par H₂O, représente une ressource irremplaçable à l'échelle de la planète. Elle constitue non seulement le socle de la vie biologique, mais aussi un levier incontournable du développement humain. Indispensable au bon fonctionnement des écosystèmes, elle occupe également une place centrale dans les activités économiques. Le secteur agricole, à lui seul, représente environ 69 % des prélèvements mondiaux en eau (**UNESCO, 2021**), tandis que l'industrie l'emploie dans de nombreuses opérations, notamment pour la génération de vapeur, le lavage, le refroidissement ou encore le traitement des matières premières (**Roustan & Grasmick, 2015**).

Dans ce contexte, les eaux embouteillées (qu'il s'agisse d'eaux minérales naturelles ou d'eaux de source) sont particulièrement recherchées pour leur pureté microbiologique, leur stabilité physico-chimique, ainsi que leur richesse en éléments minéraux tels que le calcium, le magnésium ou le sodium. Leur consommation mondiale dépasse aujourd'hui les 203,4 milliards de litres par an, soit environ 557 millions de litres consommés chaque jour, confirmant ainsi leur rôle croissant dans les habitudes alimentaires modernes.

C'est dans cette dynamique de qualité et d'innovation que s'inscrit la marque "**Boglez**", produite par la société **Salsabil**, établie dans la région d'Oum Lagareb dans la commune de **Boutheldja** wilaya d'**El Tarf**. Cette entreprise, dans laquelle nous avons effectué notre stage, se distingue par son engagement en faveur d'une eau saine, contrôlée et conforme aux normes

nationales et internationales les plus strictes. Animée par la volonté de répondre aux attentes des consommateurs et de s'imposer sur le marché national, voire international, la société Salsabil mise sur une stratégie axée sur la rigueur, la transparence et l'excellence dans la gestion de la qualité de ses produits.

Afin de mieux appréhender les enjeux liés à la qualité microbiologique de l'eau embouteillée, nous avons également élargi notre démarche en effectuant un passage au **Laboratoire d'analyses de qualité Berrahmoune Adel**, situé à **Annaba**. Cette étape complémentaire nous a permis de réaliser des analyses microbiologiques approfondies sur des échantillons d'eau, dans le but de vérifier leur conformité aux normes en vigueur et d'évaluer leur sécurité sanitaire. Les analyses portaient notamment sur la recherche de germes pathogènes, la flore totale mésophile, les coliformes totaux et fécaux, ainsi que les streptocoques fécaux, conformément aux exigences réglementaires algériennes et internationales.

I. Objectif:

L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de source prélevées au niveau de la région **d'Aïn Bouglez**, située dans la commune de Bouteldja (wilaya d'El Tarf). L'étude vise notamment à caractériser les principaux paramètres physico-chimiques (tels que le pH, la température, la conductivité, les concentrations en minéraux...) ainsi que les indicateurs microbiens (coliformes totaux, coliformes fécaux, Escherichia coli, etc.) afin d'estimer le niveau global de qualité de ces eaux à travers, entre autres, le calcul de l'indice de pollution microbiologique.

Afin de garantir la fiabilité et l'objectivité des résultats, les analyses ont été réparties entre deux cadres distincts :

- ✓ **Les analyses physico-chimiques** ont été réalisées au sein de **l'entreprise SARL « Salsabil » Bouglez à boutheldja**.
- ✓ **Les analyses microbiologiques** ont été effectuées dans un laboratoire externe spécialisé, à savoir **le Laboratoire d'analyses de la qualité Berrahmoune Adel**, basé à **Annaba**.

Ce double dispositif analytique a permis de croiser les données, de valider les résultats obtenus et d'assurer une évaluation rigoureuse et complète de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine.

II. Description du lieu de prélèvement :

Aïn Bouglez est une **source naturelle** située dans la commune de **Bouteldja**, dans la wilaya de **El Tarf**, à l'est de l'Algérie. Cette région est réputée pour l'existence d'une **nappe phréatique abondante**, qui émerge naturellement à la surface du sol, faisant de cette zone un **site hydrique stratégique**.

En raison de la pureté apparente de son eau et de son exploitation industrielle croissante, ce site a été sélectionné pour les prélèvements dans le cadre de cette étude.



Figure 28 : Source d'Aïn Bouglez.

II.1.Climat :

Aïn Bouglez se trouve dans une zone climatique méditerranéenne, caractérisée par des étés chauds et secs, et des hivers doux et humides. Les températures estivales varient entre 25 et 32 °C, tandis qu'en hiver, elles oscillent entre 10 et 24 °C. La région enregistre la majorité de ses précipitations durant la saison hivernale, ce qui contribue à l'alimentation des sources et des nappes souterraines.

II.2. Végétation :

La végétation à Aïn Bouglez reflète la biodiversité typique des zones méditerranéennes. On y trouve des oliviers, des cyprès, des chênes-lièges, ainsi qu'une grande variété de plantes sauvages et de fleurs. Cette richesse végétale confère à la région une importance écologique et en fait un habitat favorable pour de nombreuses espèces végétales et animales.

III. Détermination du site de prélèvement :

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité des eaux de consommation issues des ressources naturelles, un site de prélèvement a été sélectionné : **la source d'Ain Bougelaz**, situé dans la commune de **Bouteldja**. Ce choix repose sur des critères scientifiques et pratiques bien définis :

- La source d'Ain Bougelaz représente une ressource essentielle pour l'alimentation en eau potable des habitants de la région.

-Ce point d'eau est couramment utilisé par la population locale et se situe dans une zone susceptible d'être influencée par divers facteurs de pollution, ce qui en fait un site pertinent pour l'étude de la qualité des eaux.

-Sa proximité et son accessibilité ont facilité la réalisation régulière des prélèvements.

III.1.Procédure de prélèvement des échantillons :

Le prélèvement des échantillons d'eau est une opération critique, dont la rigueur conditionne la fiabilité des analyses et la justesse de leur interprétation. Il est impératif que l'échantillon soit homogène, représentatif du milieu aquatique étudié et qu'il conserve intactes ses caractéristiques physico-chimiques (présence de gaz dissous, matières en suspension, etc.).

Dans la majorité des cas, le prélèvement n'est pas assuré par l'analyste lui-même ; il est donc fondamental que la personne chargée de cette tâche maîtrise parfaitement les conditions de prélèvement et comprenne son importance vis-à-vis de la qualité des résultats (**Rodier, 2009**).

III.2. Équipement de prélèvement :

La préparation du matériel de prélèvement doit être méticuleusement organisée. L'équipement de terrain doit comporter :

- Des flacons en verre stérilisés, correctement étiquetés
- Une glacière équipée de plaques eutectiques pour maintenir la chaîne de froid
- La glace
- Un carnet de terrain pour consigner toutes les observations
- Un dispositif de mesure multiparamétrique

III.3. Traçabilité et codification des échantillons :

Afin de garantir la rigueur du suivi et d'éviter toute erreur lors de l'analyse, il est indispensable que les échantillons soient étiquetés de manière lisible, stable et indélébile immédiatement avant le prélèvement (**Rodier, 1996**). Les étiquettes doivent comporter les informations suivantes :

- Le site de prélèvement
- Le nom de la source
- La date et l'heure du prélèvement
- Les conditions météorologiques au moment du prélèvement
- Un numéro de code
- Toute circonstance inhabituelle observée sur le terrain

III.4. Technique de prélèvement :

Les prélèvements ont été réalisés conformément aux directives méthodologiques **de Rodier (2009)**, notamment :

-Les flacons destinés à l'analyse physico-chimique sont rincés trois fois avec l'eau à analyser avant le prélèvement final.

-L'échantillonnage est effectué à une profondeur comprise entre 5 et 10 cm sous la surface, en veillant à éviter toute introduction d'air et sans toucher le fond afin de ne pas remobiliser les sédiments.

-Les flacons sont remplis à ras bord et fermés hermétiquement sans emprisonnement de bulles d'air, de façon à éviter toute contamination ou perte de gaz dissous.

-Après conditionnement et étiquetage, les échantillons sont immédiatement placés dans une glacière à 4 °C pour assurer leur conservation jusqu'à l'analyse.

III.5. Conditions de transport et de conservation :

Pour préserver l'intégrité des échantillons et éviter toute altération des paramètres physico-chimiques, ceux-ci doivent être acheminés vers le laboratoire d'analyse dans les plus brefs délais. Le transport s'effectue dans des glacières réfrigérées, conformément aux normes de conservation des échantillons environnementaux.

IV. Choix du laboratoire d'analyse :

Les échantillons ont été prélevés sur le terrain à une fréquence mensuelle durant une période de deux mois. En raison de la limitation des ressources analytiques disponibles, il n'a pas été possible d'effectuer les analyses dans un laboratoire universitaire. Ainsi, les examens physico-chimiques ont été confiés à une entité spécialisée localement, à savoir **l'entreprise SARL « SALSABIL » Bougelaz de Bouteldja**.

Quant aux analyses microbiologiques, elles ont été réalisées au **laboratoire d'analyse de la qualité Berrahmoune Adel**, afin de garantir la fiabilité et la précision des résultats obtenus dans le cadre de cette étude.

IV.1.L'Entreprise SARL « SALSABIL» Bougelaz :

Dans le cadre de cette étude, nous nous intéressons à la caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux de la source d'Aïn Bougelaz, ainsi qu'à l'évaluation de l'indice de contamination microbiologique, dans le but de déterminer la qualité de cette eau naturelle et son adéquation à la consommation humaine, selon les normes sanitaires et scientifiques en vigueur.

À cette fin, nous nous sommes orientés vers l'entreprise Aïn Bougelaz, une société réputée et respectée au niveau national pour la qualité de ses produits et son engagement envers les standards d'hygiène et de sécurité.

L'entreprise nous a fait preuve d'un grand professionnalisme et d'une collaboration précieuse, en facilitant l'accès aux échantillons et aux données nécessaires à la réalisation de nos analyses.

Nous tenons ici à exprimer nos sincères remerciements à la direction de l'entreprise ainsi qu'à l'ensemble de son personnel technique, pour leur accueil chaleureux et leur soutien tout au long de ce travail.

Cette collaboration a constitué une réelle opportunité qui nous a permis de renforcer notre démarche scientifique et d'élargir le champ de nos investigations en vue d'atteindre les objectifs fixés par notre étude.



Figure 29 : L'Entreprise SARL « SALSABIL ».

IV.1.1. Situation géographique :

L'unité de production d'Aïn Bouglez est située à Oum Lagareb, dans la commune de Boutheldja. Elle est délimitée comme suit :

- **Au nord :** par la mer Méditerranée.
- **Au sud :** par la plaine de Boutheldja.
- **À l'est :** par le massif du Cap Rosa.



• À
l'ouest
: par la
région
de
Mefrag
h.

Figure 30 : Situation géographique.

IV.1.2. Description et implantation de l'entreprise SARL « SALSABIL »:

SARL « SALSABIL » est une entreprise agroalimentaire spécialisée dans la production d'eau minérale, de boissons gazeuses et de jus de différentes sortes.

Créée le 25 décembre 2000, elle a obtenu l'autorisation d'exploitation n° 39/2021 en date du 29 décembre 2021.

Implantée dans la commune de Boutheldja, wilaya d'El-Tarf, l'entreprise s'étend sur une superficie totale de 96 960 m², dont 31 449,50 m² sont bâtis. Cette surface construite est dédiée aux lignes de production, aux zones de stockage ainsi qu'au centre de gestion.

Le capital social de la société connaît une progression constante au fil des années, pour atteindre actuellement un montant estimé à 265 000 000 DA.



Figure 31 : L'eau de Bouglez.

IV.1.3.Objectifs stratégiques et perspectives de développement :

Dans le cadre de sa stratégie de développement, SARL SALSABIL vise à élargir sa part de marché et à se positionner comme un acteur concurrentiel dans le secteur des boissons, à travers les objectifs suivants :

- L'assurance de la conformité de ses produits aux normes de qualité et aux certifications requises.
- Le développement de la production de concentrés naturels.
- L'accroissement de sa capacité de production.
- L'accès aux marchés internationaux via l'exportation

IV.1.4.Les paramètres étudiés :

IV.1.4.1.Les paramètres physicochimiques :

- Température de l'eau (T)
- Potentiel hydrogène (pH)
- Salinité (Sal)
- Conductivité électrique (CE)

- Chlorures (Cl^-)
- Calcium (Ca^{2+})
- Magnésium (Mg^{2+})
- Oxygène dissous (OD ou DO pour Dissolved Oxygen)
- Nitrates (NO_3^-)
- Nitrites (NO_2^-)
- Ammonium (NH_4^+)
- Solides dissous totaux (TDS : Total Dissolved Solids)
- Titre alcalimétrique (TA)
- Turbidité (NTU : Nephelometric Turbidity Unit)

A). Matériels utilisés :

- Spectrophotomètre Dr 3900
- pH mètre
- Turbidimètre
- Conductimètre
- étuve de séchage pour la détermination des résidus secs
- Balance électronique

B). Méthodologie :

a). Les paramètres physiques :

1. Température de l'eau (T) (Exprimée en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$)) :

Il est essentielle de mesurer la température de l'eau, car elle influence directement de nombreux paramètres physico-chimiques et permet leur correction lors de l'interprétation des résultats analytiques. Cette mesure doit impérativement être effectuée in situ, afin de garantir la fiabilité des données recueillies et de mieux appréhender les conditions environnementales du milieu aquatique. Par ailleurs, la température est nécessaire pour l'étalonnage précis d'instruments tels que le conductimètre et le pH-mètre, dont les lectures varient en fonction de la température ambiante.

• **Mode opératoire :**

La méthode consiste à immerger la sonde du thermomètre dans l'échantillon d'eau, à attendre la stabilisation de la lecture, puis à relever la valeur obtenue, exprimée en degrés Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

2. Turbidité (NTU)(Exprimée en unités néphéométriques) :

La turbidité représente la mesure de la capacité de l'eau à diffuser ou à absorber la lumière, en raison de la présence de particules en suspension (argiles, matières organiques, micro-organismes, etc.). Elle est déterminée à l'aide d'un turbidimètre, et les résultats sont exprimés en unités néphéométriques de turbidité (NTU : Nephelometric Turbidity Units).

- Mode opératoire :

- Effectuer une légère agitation de l'échantillon d'eau afin d'homogénéiser la suspension.
- Rincer la cuve de mesure (tube spécifique du turbidimètre) à l'aide d'eau distillée ou de l'échantillon à analyser, puis la remplir avec l'eau à analyser jusqu'au repère prévu.
- S'assurer de l'absence de bulles d'air dans la cuve, car celles-ci peuvent fausser la lecture.
- Manipuler la cuve uniquement par la base afin d'éviter toute contamination de la surface optique.
- Essuyer délicatement l'extérieur de la cuve avec un papier non pelucheux ou un papier hygiénique propre, pour garantir une lecture sans interférences.
- Introduire la cuve dans le compartiment de mesure du turbidimètre.
- Patienter quelques secondes jusqu'à l'affichage du résultat à l'écran.
- Retirer la cuve, la vider et la rincer immédiatement après la mesure.

- Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés en **NTU (Nephelometric Turbidity Units)**, conformément aux normes en vigueur pour les analyses de qualité des eaux.



Figure 32 : Turbidimètre.

3. Salinité (Sal) (Exprimée en grammes par litre (g/L) ou en PSU (Practical Salinity Unit) :

La salinité désigne la concentration en sels dissous présents dans l'eau, notamment les ions chlorure (Cl^-), sodium (Na^+), sulfate (SO_4^{2-}), magnésium (Mg^{2+}), calcium (Ca^{2+}) et potassium (K^+). Elle influence plusieurs propriétés physico-chimiques de l'eau, telles que la densité, la compressibilité, le point de congélation et la température de densité maximale. En revanche, des paramètres comme la viscosité ou l'absorption de la lumière ne sont que faiblement affectés par la salinité.

- **Mode opératoire :**

- La salinité est généralement mesurée à l'aide d'un conductimètre ou d'un réfractomètre :
- Rincer la sonde de l'appareil avec de l'eau distillée ou une portion de l'échantillon à analyser.
- Plonger la sonde dans l'échantillon d'eau jusqu'à immersion complète.
- Attendre la stabilisation de la lecture numérique.

-Noter la valeur affichée, exprimée en **g/L** ou en **PSU (Practical Salinity Unit)**.

4. Solides dissous totaux (TDS : Total Dissolved Solids) (Exprimés en mg/L) :

Les solides dissous totaux (TDS) représentent la concentration globale en matières minérales, organiques et inorganiques dissoutes dans l'eau. Ils englobent principalement les ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), bicarbonates (HCO_3^-), chlorures (Cl^-) et sulfates (SO_4^{2-}). Le TDS constitue un indicateur essentiel de la minéralisation et de la qualité physico-chimique des eaux naturelles ou traitées.

- **Mode opératoire :**

-Méthode gravimétrique (résidus secs à l'étuve) :

Cette méthode consiste à évaporer une quantité donnée d'eau, puis à déterminer la masse des résidus solides restants après séchage.

-Prélever un volume précis d'échantillon (souvent 100 mL) d'eau filtrée.

-Verser cet échantillon dans une capsule préalablement tarée (pesée à vide).

-Placer la capsule dans **une étuve** réglée à environ 105 °C.

-Laisser sécher jusqu'à évaporation complète de l'eau (généralement 24 h).

-Retirer la capsule, la laisser refroidir dans un dessiccateur pour éviter l'absorption d'humidité.

-Peser la capsule à l'aide **d'une balance électronique** de précision.

-La différence de masse avant et après séchage correspond à la quantité de TDS, exprimée en mg/L.

Cette méthode est plus longue mais nettement plus précise que le TDS-mètre, notamment dans un cadre de recherche ou d'études réglementaires.



Figure 33 : Étuve de séchage.



Figure 34 : Balance électronique.

5. Conductivité électrique (CE) (Exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$)) :

La conductivité électrique (notée CE) d'une eau représente sa capacité à conduire le courant électrique, en fonction de la concentration en ions dissous. Plus la teneur en sels minéraux est élevée, plus la conductivité est importante. Ce paramètre est directement lié à la minéralisation de l'eau et constitue un indicateur rapide de sa qualité globale.

Elle s'exprime en micro-siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25 °C, température de référence à laquelle les mesures doivent idéalement être corrigées pour garantir leur comparabilité.

-Mode opératoire :

- Préparation de l'appareil :

-Allumer le conductimètre et vérifier qu'il est bien calibré (souvent à l'aide d'une solution étalon de conductivité connue).

-Nettoyer soigneusement la sonde à l'eau distillée pour éviter toute contamination croisée.

- Mesure de l'échantillon :

-Rincer la sonde avec une petite quantité de l'échantillon à analyser, puis jeter cette portion.

-Immerger complètement la sonde dans le récipient contenant l'échantillon.

-Attendre quelques instants que la lecture se stabilise.

- Lecture et enregistrement :

-Lire la valeur affichée sur l'écran de l'appareil, généralement exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

-Si nécessaire, corriger la valeur en fonction de la température (certains appareils disposent d'un capteur de température intégré).



Figure 35 : Le conductimètre.

b). Les paramètres chimiques :

1. Potentiel hydrogène (pH) (mesure de l'acidité ou de l'alcalinité) :

Le potentiel hydrogène (pH) est un paramètre fondamental qui permet de déterminer le caractère acide, neutre ou basique d'une eau. Il reflète la concentration en ions hydrogène (H^+) en solution. La valeur du pH varie généralement entre 0 et 14 :

- $\text{pH} < 7$: milieu acide
- $\text{pH} = 7$: milieu neutre

- $\text{pH} > 7$: milieu basique



Figure 36 : Le pH-mètre.

La température influence fortement l'équilibre des réactions chimiques en solution et affecte directement la valeur du pH mesurée. Il est donc essentiel que la mesure du pH soit accompagnée d'une lecture de la température de l'échantillon.

La mesure est réalisée à l'aide d'un pH-mètre, souvent équipé d'une sonde combinée (électrode de pH + capteur de température).

➤ **Mode opératoire :**

-Préparation de l'appareil :

-Allumer le pH-mètre et s'assurer qu'il a été calibré au préalable à l'aide de solutions tampons (souvent pH 4, 7 et 10).

-Rincer soigneusement la sonde avec de l'eau distillée pour éliminer tout résidu d'échantillon précédent.

-Mesure de l'échantillon :

-Rincer la sonde avec une petite quantité d'eau à analyser (échantillon), puis jeter cette portion.

-Immerger complètement la sonde dans l'échantillon, en s'assurant que l'électrode est bien recouverte.

-Attendre quelques instants jusqu'à stabilisation de la valeur

-Lecture des résultats :

-Lire directement sur l'écran la valeur du pH.

-Si l'appareil est équipé d'un capteur de température, la température de l'échantillon'affichera également.

-Noter les deux valeurs pour interprétation.

-Nettoyage :

-Rincer à nouveau la sonde à l'eau distillée.

-Conserver la sonde dans une solution de conservation appropriée si l'analyse est terminée.

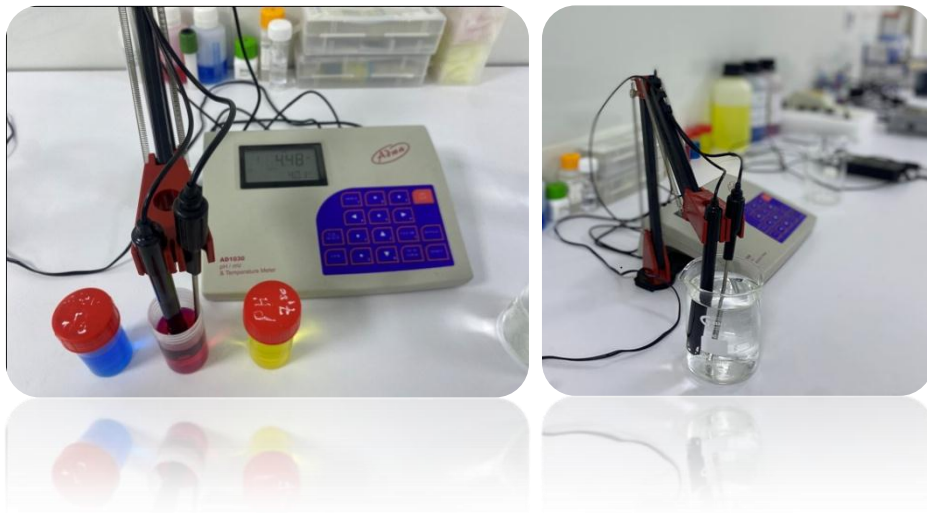


Figure 37 : Le pH-mètre.

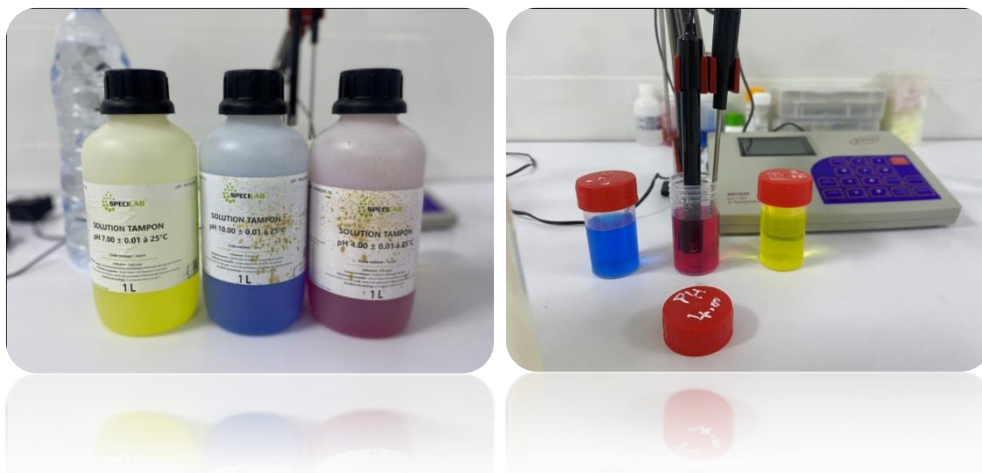


Figure 38 : Les solutions tampon du pH-mètre.

2. Éléments ioniques et nutriments dissous mesurés en mg/L :

Le spectrophotomètre DR 3900 de Hach est un appareil de laboratoire de haute précision, spécialement conçu pour l'analyse photométrique des paramètres de qualité de l'eau. Grâce à cette technologie avancée, il est possible de quantifier avec fiabilité plusieurs éléments ioniques et nutriments dissous, tels que les chlorures (Cl^-), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), l'oxygène dissous (OD), les nitrates (NO_3^-), les nitrites (NO_2^-) et l'ammonium (NH_4^+).

Toutes ces concentrations sont exprimées en milligrammes par litre (**mg/L**), et les résultats obtenus permettent une évaluation précise de la charge chimique des eaux, essentielle pour le suivi environnemental et sanitaire.



Figure 39 : Le spectrophotomètre DR 3900 de Hach.

➤ **Mode opératoire :**

-Préparation de l'échantillon : Prélever un volume spécifique d'eau (généralement 10 à 25 mL) dans une cuvette propre.

-Ajout du réactif : Ajouter le réactif approprié selon le paramètre à analyser.

-Réaction chimique : Laisser le mélange réagir pendant le temps recommandé pour développer la coloration.

-Mesure : Insérer la cuvette dans le compartiment du DR 3900 et lancer la lecture.

-Résultat : Le spectrophotomètre affiche directement la concentration de l'analyte en mg/L.

- Paramètres mesurables et plages de détection :

Le DR 3900 permet la mesure des ions et nutriments suivants :

- **Chlorures (Cl^-)** : Méthode Mercurimétrique ou Argentométrique, plage typique : 0,1 – 1000 mg/L.



Figure 40 : Les réactifs LCK311 pour l'analyse des chlorures.

- **Nitrates (NO_3^-)** : Réduction au cadmium suivie de la méthode de Griess, plage : 0,2 – 30 mg/L.

➤ **Mode opératoire :**

- Ajouter lentement 0,2 mL de l'échantillon dans le flacon.
- Ajouter ensuite lentement 1,0 mL de l'échantillon dans le flacon marqué "A".
- Fermer le flacon et l'agiter doucement 2 à 3 fois.
- Laisser réagir pendant 15 minutes.
- Insérer le flacon dans le spectrophotomètre pour effectuer la mesure.

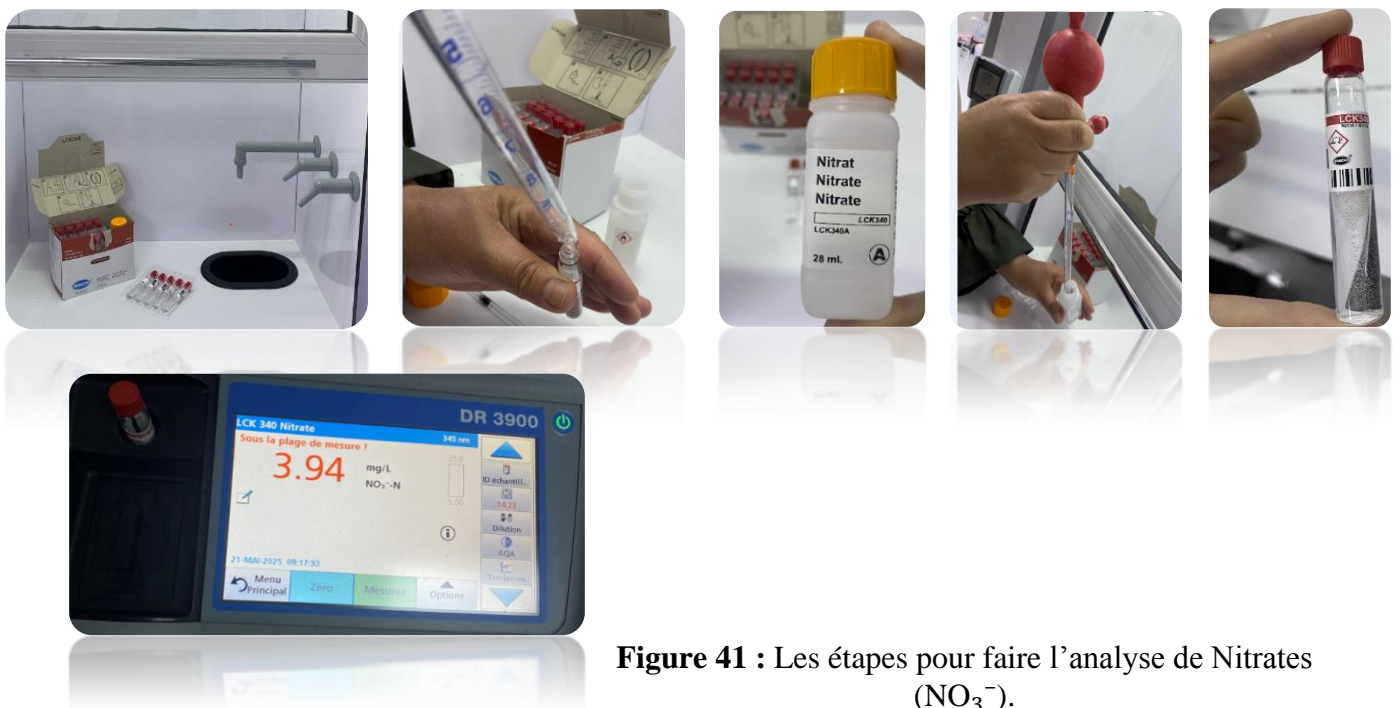


Figure 41 : Les étapes pour faire l'analyse de Nitrates (NO_3^-).

- **Nitrites (NO_2^-)** : Méthode à la sulfanilamide, plage : 0,002 – 0,5 mg/L.
- **Mode opératoire :**

-Retirer le capuchon **DosiCap Zip** du tube à réactif.

-Introduire 2,0 mL de l'échantillon d'eau à analyser dans le tube.

-Fermer le tube avec le **DosiCap Zip**.

-Agiter doucement de haut en bas 2 à 3 fois.

-Attendre environ 3 secondes.

-Laisser réagir la solution pendant 10 minutes.

-Placer le tube dans le spectrophotomètre et effectuer la lecture de l'absorbance.



Figure 42 : Les réactifs LCK341 pour l'analyse de Nitrite (NO_2^-).

- **Magnésium (Mg^{2+})** : Méthode au calmagite, plage : 0,05 – 4 mg/L.
- **Mode opératoire :**

-Ajouter 3,0 mL d'échantillon dans le tube à réactif.

-Ajouter ensuite 3,5 mL d'eau distillée.

-Fermer le tube et agiter doucement 2 à 3 fois.

-Laisser réagir pendant 2 minutes.

-Placer le tube dans le spectrophotomètre et effectuer la première lecture (READ 1).



Figure 43 : Les réactifs LCK326 pour l'analyse de Magnésium (Mg^{2+}).

- **Potassium :**

- **Mode opératoire :**

-Prélever 1,0 mL de la solution A et l'introduire dans la cuve.

-Ajouter 1,0 mL de l'échantillon d'eau à analyser.

-Ajouter une cuillère rase du réactif B (poudre).

-Fermer la cuve avec le bouchon fourni.

-Agiter vigoureusement la cuve plusieurs fois pour bien mélanger les réactifs.

-Attendre 5 minutes pour permettre le développement de la turbidité.

-Agiter de nouveau la cuve pour homogénéiser la solution.

-Nettoyer l'extérieur de la cuve avec un chiffon propre et sec.

-Insérer la cuve dans le spectrophotomètre Hach

-Lire la concentration de potassium directement affichée par l'appareil.



Figure 44 : Les étapes pour l'analyse de Potassium.

- **La DBO₅ : (Demande Biologique en Oxygène sur 5 jours) :**

- **Mode opératoire**

- Préparation de l'échantillon :**

- Homogénéiser l'échantillon.(Bien mélanger avant l'analyse.)

- Amener la température de l'échantillon à 20°C et laisser reposer pendant 5 minutes.

- Préparation de la dilution :**

- Remplir un flacon de dilution avec de l'eau de dilution (préalablement aérée à 700–900 L/h).

- Ajouter un volume précis (X,X mL) de l'échantillon dans le flacon.

- Agiter doucement pendant 1 minute.

- Remplissage des cuvettes :**

- Remplir deux cuvettes : A (échantillon de départ) et B (échantillon pour mesure après 5 jours).

-Marquer et refermer les cuvettes.

-Incubation :

-Incuber la cuvette B pendant 5 jours à 20°C.

-Mesure avec le spectrophotomètre :

-Après 5 jours, insérer la cuvette A dans l'appareil, agiter doucement pendant 3 minutes.

-Puis insérer la cuvette B, et attendre encore 3 minutes.

-Régler l'appareil sur "Zéro" avec la cuvette A.

-Mesurer la DBO₅ avec la cuvette B.



Figure 45 : Les réactifs LCK555 pour l'analyse de la DBO₅.

- **La Dureté d'eau :**

- **Mode opératoire :**

-Ajouter 4,0 mL du réactif A dans la cuve.

-Mélanger soigneusement.

-Attendre 2 minutes.

-Ajouter 0,2 mL de l'échantillon d'eau.

-Mélanger à nouveau.

-Lire la valeur 1 (READ 1) sur le spectrophotomètre.

-Ajouter 0,2 mL du réactif B.

-Mélanger et attendre 30 secondes.

-Lire la valeur 2 (READ 2).

-Lire la valeur 3 (READ 3) après une autre attente de 30 secondes si nécessaire.



Figure 46 : Les réactifs LCK327 pour l'analyse de la Dureté d'eau.

- **Sulfate :**

- **Mode opératoire :**

-Prélever 5,0 mL de l'échantillon et l'introduire dans la cuve.

-Ajouter une dose du réactif A (poudre).

-Fermer la cuve avec le bouchon.

-Agiter fortement pendant 2 minutes.

-Nettoyer la cuve extérieure.

-Insérer la cuve dans le spectrophotomètre et mesurer.



Figure 47 : Les réactifs LCK 153 pour l'analyse de sulfate.

IV.2. Laboratoire d'analyse de la qualité Berrahmoune Adel à Annaba :

J'ai effectué ces travaux au sein du **Laboratoire d'analyse de la qualité Berrahmoune Adel à Annaba**, un établissement reconnu pour la rigueur et la fiabilité de ses analyses microbiologiques et physico-chimiques. Ce laboratoire dispose d'un environnement professionnel moderne, équipé d'outils et de technologies de pointe tels que des étuves à température contrôlée, des autoclaves, des hottes à flux laminaire, des microscopes optiques, ainsi que des instruments précis pour l'analyse de l'eau, du sol et des produits agroalimentaires.

Je me suis rendu dans ce laboratoire afin de réaliser **les analyses microbiologiques et l'évaluation de l'indice de contamination microbiologique des eaux de source d'Ain Bouglez**. Le respect des protocoles normalisés garantit la qualité et la fiabilité des résultats obtenus.

IV.2.1. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliforme fécaux:

- **Coliformes** : Il s'agit de Bacilles Gram Négatifs (BGN), aérobies ou anaérobies facultatifs, non sporulés, ne possédant pas d'oxydase, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 et 37°C, selon l'ISO.



Figure 48 : Coliformes.

- **Coliformes Thermo-tolérants** : Il s'agit là de coliformes possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes mais à 44°C ; ils remplacent dans la majorité des cas l'appellation de «Coliformes fécaux ».

- **Escherichia coli:** Il s'agit là de coliformes Thermo-tolérants qui produisent, en outre, de l'indole à partir du tryptophane à 44°C.
- **Pouvoir pathogène:** Les coliformes étant des bactéries vivant dans les intestins d'animaux ou humains, leur présence dans l'aliment indique une pollution fécale. Ce sont donc des organismes indicateurs de la qualité de l'aliment. Ils ne provoquent pas d'intoxication sauf Escherichia coli.



Figure 49 : La bactérie Escherichia coli.

IV.2.2. Matériel et méthodes :

- **Matériels utilisés :**



Figure 50 : Échantillon d'eau à analyser.



Figure 51 : Milieu VRBL.
(Violet Red Bile Lactose Agar)

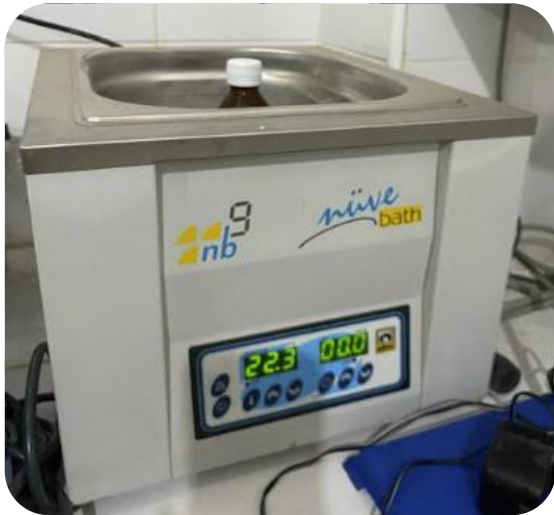


Figure 52 : Appareil de chauffe (bain-marie).



Figure 53 : Bec benzène pour faire fondre le VRBL.



Figure 54 : Étuve/incubateur réglé (à 37°C pour les coliformes totaux 44,5°C pour les coliformes fécaux).



Figure 55 : Pipette pasteur.

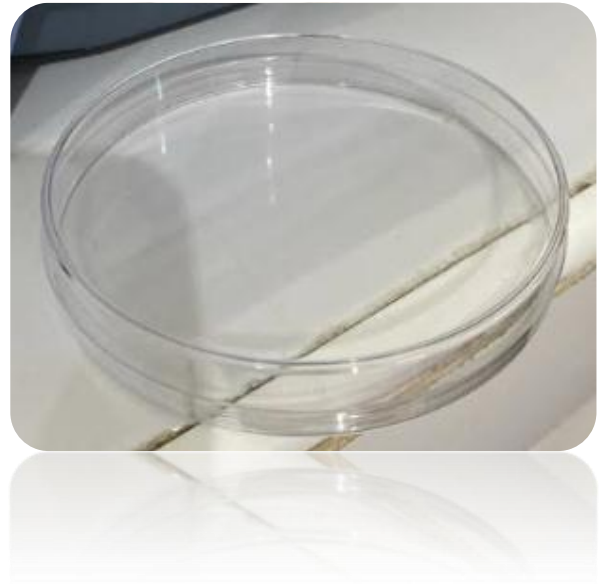


Figure 56 : Boîtes de Pétri stérile.



Figure 57 : Tige métallique stérilisée.



Figure 58 : Gants, alcool.

- **Méthodes :**

- Ensemencement en masse (par incorporation) :**

- **Préparation du milieu :**

- Dissoudre le gélose de VRBL dans de l'eau distillée à l'aide d'un appareil de chauffe jusqu'à dissolution complète.

- Maintenir le milieu à environ 45°C.



Figure 59 : Dissolution de VRBL.

- **Préparation aseptique :**

- Travailler à proximité du bec benzène pour limiter la contamination.

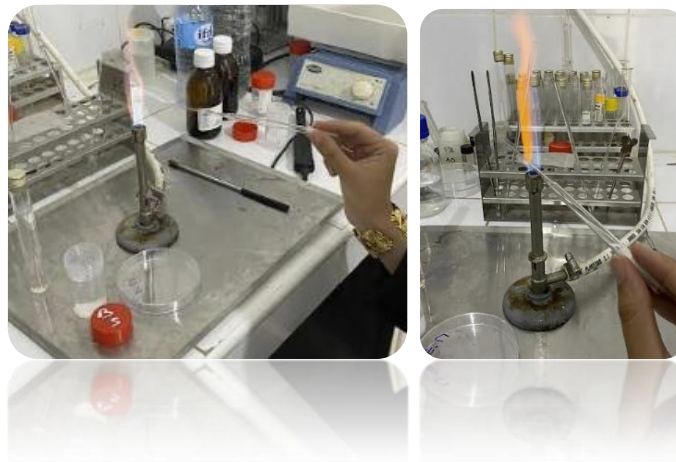


Figure 60 : Stérilisation de pipette pasteur.

➤ **Inoculation :**

-À l'aide d'une pipette Pasteur, prélever 1 mL d'échantillon d'eau et le déposer au fond d'une boîte de Pétri stérile.

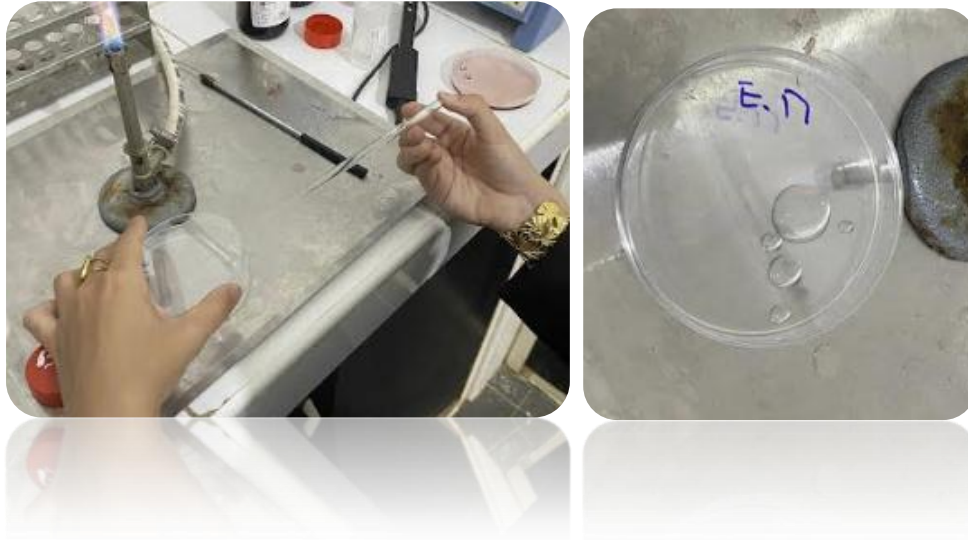


Figure 61 : Mise en place de l'échantillon.

➤ **Coulée du milieu :**

-Ajouter rapidement le milieu VRBL fondu et tiède (~15 mL) dans la boîte contenant l'échantillon.



Figure 62 : Mise en place de la gélose dans le milieu de culture.

➤ **Mélange :**

-Mélanger doucement par des mouvements circulaires.

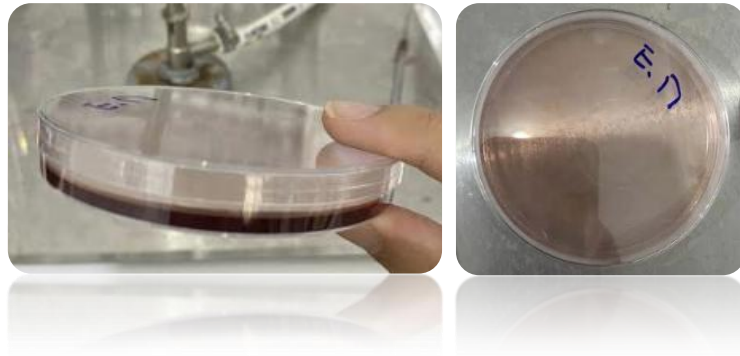


Figure 63 : Mélange de la gélose.

➤ **Incubation :**

-37°C pendant 24 h → coliformes totaux.

-44,5°C pendant 24 h → coliformes fécaux.



Figure 64 : Les boîtes de pétri prêtes à l'incubation.

-Ensemencement en surface :

➤ **Préparation du milieu :**

-Verser environ **15 mL de VRBL** fondu dans une boîte de Pétri stérile et laisser solidifier.



Figure 65 : La gélose VRBL.

➤ **Préparation aseptique :**

-Travailler à côté d'un bec benzène.

-Chauffer **une tige métallique** à la flamme jusqu'à incandescence, puis la laisser refroidir.

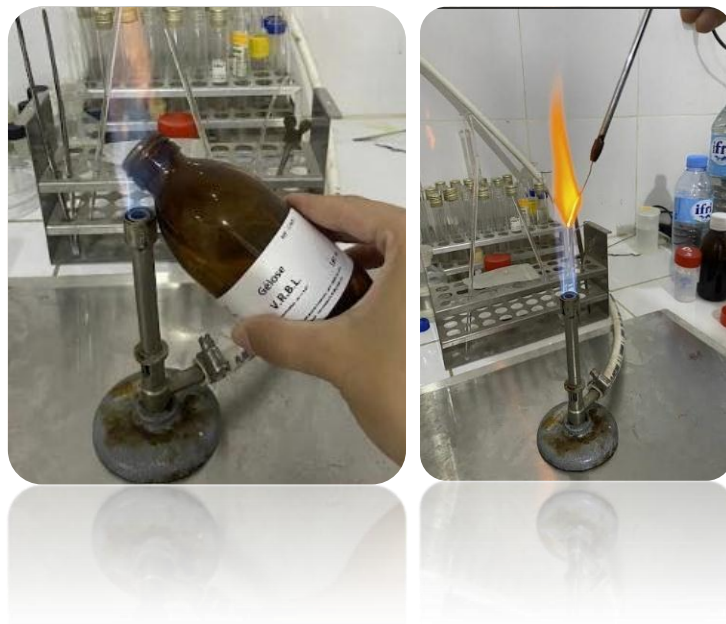


Figure 66 : Stérilisation des matériels.

➤ **Inoculation :**

-Déposer 1 mL d'échantillon d'eau sur la surface du milieu solidifié.

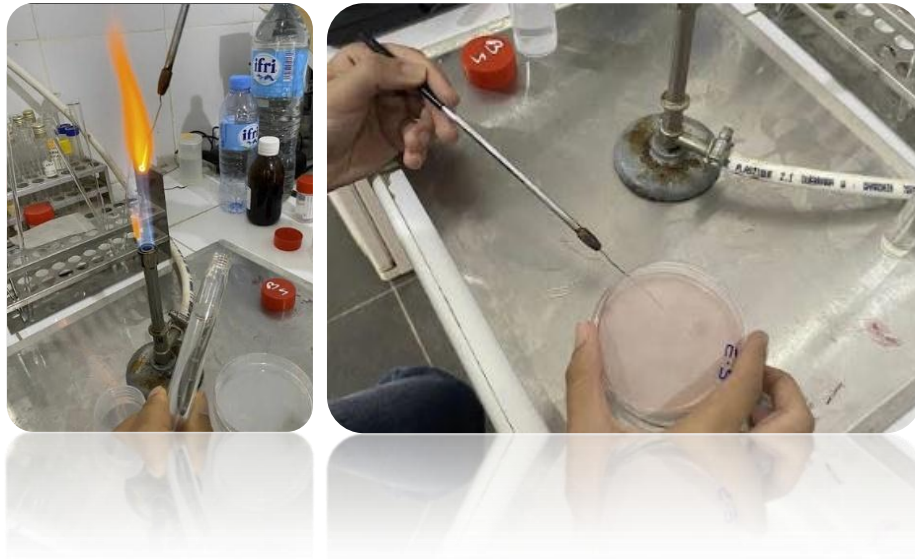


Figure 67 : Mise en place de l'échantillon.

➤ **Étaler l'échantillon :**

-Utiliser la tige métallique stérile pour répartir l'échantillon uniformément à la surface du milieu.



Figure 68 : L'étalement de l'échantillon.

➤ **Incubation :**

-37°C pendant 24 h → coliformes totaux

-44,5°C pendant 24 h → coliformes fécaux



Figure 69 : Les boîtes de pétri prêtes a l'incubation.

IV.2.3.L'objectif de chaque méthode :

➤ **Ensemencement en masse pour :**

-Obtenir un dénombrement global des coliformes présents dans l'échantillon.

-Méthode quantitative, utilisée pour estimer la concentration totale des bactéries (en UFC/mL).

➤ **Ensemencement en surface pour :**

-Permettre une meilleure visualisation des colonies individuelles à la surface du milieu.

-Méthode qualitative et quantitative, idéale pour identifier, isoler et compter les colonies spécifiques.

IV.2.4. La Comparaison entre les deux méthodes :

Dans cette expérience, deux techniques d'ensemencement ont été comparées : l'ensemencement en masse et l'ensemencement en surface, chacune répondant à des objectifs spécifiques. L'ensemencement en masse consiste à incorporer l'échantillon d'eau directement dans le milieu de culture VRBL encore liquide, puis à le verser dans une boîte de Pétri. Cette méthode permet une répartition homogène des bactéries dans tout le volume du milieu, ce qui la rend idéale pour le dénombrement global des coliformes totaux et fécaux exprimé en UFC/mL.

En revanche, l'ensemencement en surface consiste à déposer l'échantillon à la surface d'un milieu solidifié, puis à l'étaler à l'aide d'une tige métallique stérilisée à la flamme. Cette technique permet une meilleure visualisation des colonies bactériennes, facilitant ainsi leur isolement et identification morphologique.

Tandis que la méthode en masse est privilégiée pour les analyses quantitatives précises, celle en surface est mieux adaptée à l'observation qualitative et à la sélection de colonies spécifiques. Ainsi, le choix de la méthode dépend du but recherché : quantification générale ou caractérisation des colonies.

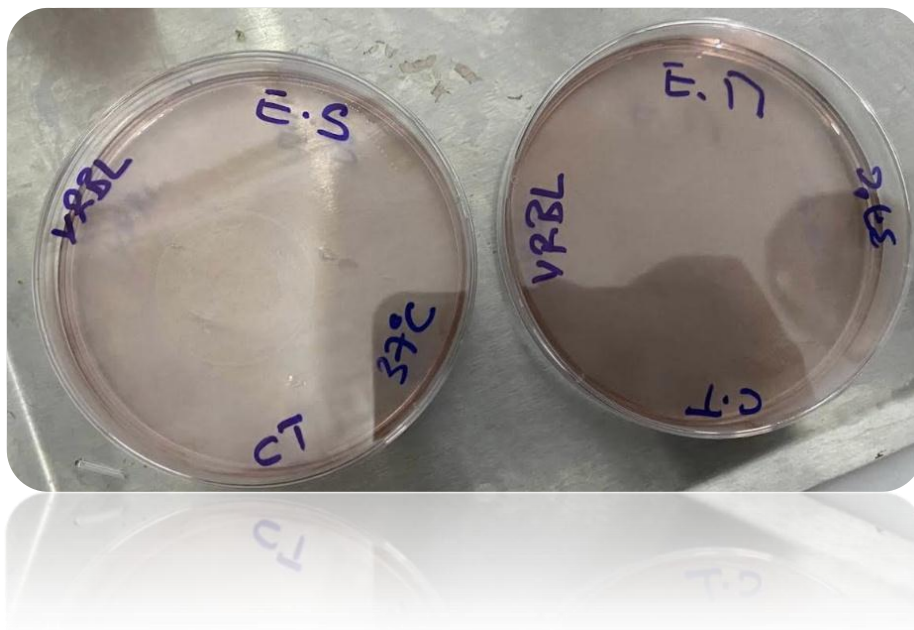


Figure 70 : L'ensemencement en surface et en masse.

- **Indice de Contamination Microbiologique (ICM)**

L'**Indice de Contamination Microbiologique (ICM)** est un **indicateur quantitatif** utilisé pour évaluer la **qualité microbiologique de l'eau**, principalement en fonction de la **présence de germes indicateurs de contamination fécale**. Il permet de classer les eaux selon leur niveau de pollution microbiologique et d'estimer les risques sanitaires.

1. Germes indicateurs utilisés dans l'ICM

En général, l'ICM est calculé à partir de la présence/abondance des microorganismes suivants :

Micro-organisme	Signification
<i>Coliformes totaux</i>	Contamination générale
<i>Coliformes fécaux (E. coli)</i>	Contamination d'origine fécale humaine ou animale
<i>Streptocoques fécaux</i>	Présence fécale persistante
<i>Clostridium perfringens</i>	Contamination ancienne (sporulant résistant)

2. Méthode de calcul de l'ICM

L'indice se calcule à partir d'un **barème de points attribués** selon la présence ou concentration des germes, par exemple :

Germes	0 = Absence	1 = Faible	2 = Moyenne	3 = Forte
<i>Coliformes totaux</i>	0	1	2	3
<i>Coliformes fécaux</i>	0	1	2	3
<i>Streptocoques fécaux</i>	0	1	2	3
<i>Clostridium perfringens</i>	0	1	2	3

□ **ICM = Somme des scores** (de 0 à 12 selon les 4 germes).

3. Interprétation de l'ICM

ICM	Niveau de contamination	Qualité microbiologique
0-3	Faible	Bonne
4-6	Moyenne	Eau douteuse
7-9	Élevée	Eau polluée
10-12	Très élevée	Eau fortement polluée

Conclusion

À la lumière des données recueillies durant notre stage au sein de l'entreprise Salsabil et des analyses réalisées au Laboratoire Berrahmoune Adel à Annaba, il apparaît clairement que la garantie de la qualité des eaux embouteillées repose sur une approche globale intégrant à la fois les aspects de production et de contrôle en laboratoire. Cette expérience de terrain nous a permis de confirmer la conformité microbiologique de l'eau analysée, renforçant ainsi la confiance des consommateurs et l'alignement du produit sur les normes sanitaires et réglementaires en vigueur. Par conséquent, l'investissement dans des mécanismes de contrôle rigoureux et des analyses régulières s'impose comme un levier essentiel pour assurer une eau de qualité et sécurisée, tant sur le marché national qu'international.



Chapitre IV :
Résultats et Discussions

Chapitre IV : Résultats et discussions

1. Résultats et discussions des analyses organoleptiques :

1.1. Odeur :

L'eau analysée ne présente aucune odeur perceptible, ce qui suggère l'absence de substances chimiques volatiles ou indésirables.

1.2. Couleur :

L'eau prélevée à la source se montre totalement limpide. Cette transparence indique que les ions métalliques tels que le fer ferreux (Fe^{2+}) et le fer ferrique (Fe^{3+}) sont absents, de même que tout colloïde susceptible de troubler la teinte naturelle de l'eau.

2. Résultats et discussions des Analyses Physico-chimique (2023-2024-2025) :

Les résultats des analyses physico-chimiques réalisés au laboratoire de l'entreprise **SARL « SALSABIL » Bougelez** durant les trois périodes d'étude sont représentés dans le tableau ci dessus :

Tableau III.1 : Résultats des Analyses physico-chimiques (2023-2024-2025).

Les années	Les Mois	Les paramètres P-C									
		P. Physiques				P. Chimiques					
		pH	Conductivité	Turbidité	TDS	Nitrate	Nitrites	Chlorure	Magnésium	Sulfate	Potassium
2023	Janvier	6,09	/	/	140,04	09	0,06	30	03,76	10	01
	Avril	6,92	/	/	140,16	09	0,06	30	03,77	10	01
	Juillet	6,92	/	/	140,08	09	0,06	30	03,77	10	01
	Octobre	6,89	/	/	140,03	09	0,06	30	03,76	10	01
2024	Janvier	6,87	153,2	0,62	142	5,63	0,001	28,3	3,8	11,24	1
	Avril	6,88	148,7	0,6	139,1	5,72	0,001	24,61		6,44	1
	Juillet	6,97	149,1	0,58	139	5,4	0,001	22,9	4,3	9,2	1
	Octobre	6,87	148,4	0,61	139,8	6,2	0,001	24,82	4,1	6,48	1
2025	Janvier	6,91	154,6	0,65	143,8	5,13	0,001	24,63	4,1	6,49	1
	avril	6,85	149,3	0,60	145,3	5,13	0,001	24,1	4,1	6,39	1

2.1 Paramètres physiques :

2.1.1. Potentielle d'hydrogène (pH) :

La figure 71 représente les valeurs du pH pour la source d'eau durant les trois périodes d'étude (2023-2024-2025).

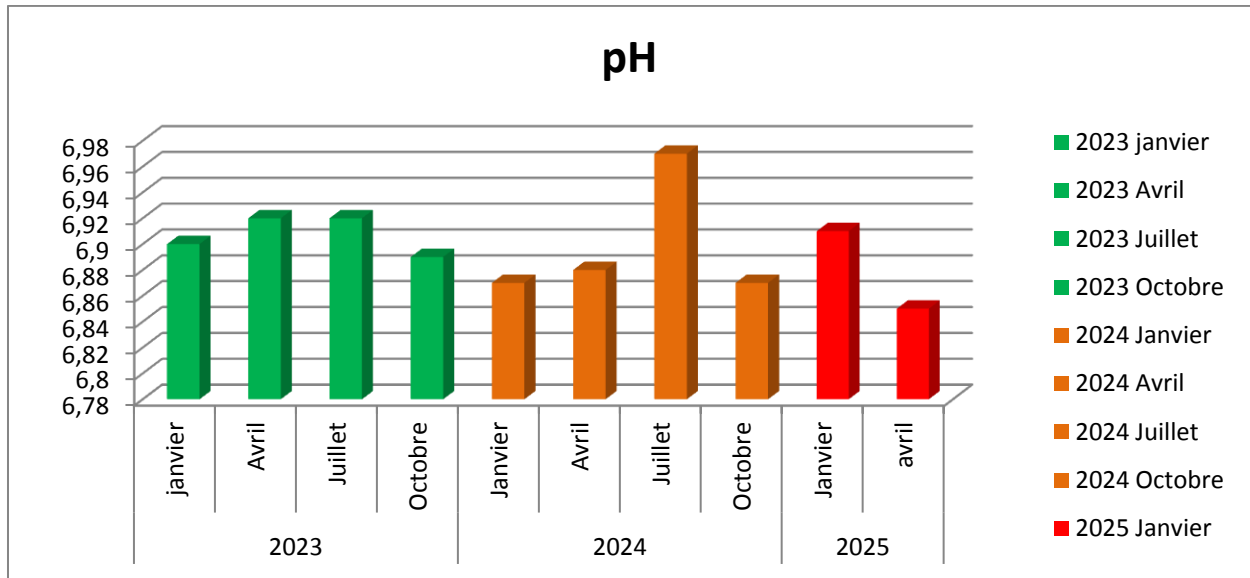


Figure 71 : Représentation graphique du teneur en PH.

Le pH représente une mesure de l'acidité de l'eau, c'est-à-dire la concentration en ions hydrogène. L'eau de la source Aïn Bouglez respecte la norme, avec des valeurs globalement proches de la neutralité.

✓ Année 2023 :

Les valeurs de pH varient entre 6,90 (en octobre) et 6,94 (en janvier), indiquant une stabilité relative, avec une légère tendance acide.

✓ Année 2024 :

Des variations marquées sont observées : une baisse à 6,88 en avril, suivie d'un pic à 6,98 en juillet (la valeur la plus élevée sur les trois années).

✓ Année 2025 :

Une tendance à la baisse est remarquée : le pH passe de 6,92 en janvier à 6,86 en avril, soit la valeur la plus basse observée.

L'année 2024 montre les plus grandes fluctuations, notamment une hausse estivale notable. En 2025, le pH atteint un minimum, ce qui pourrait refléter des changements environnementaux.

Globalement, les valeurs se situent autour de la neutralité (7), indiquant une eau ni trop acide ni trop basique.

- **Valeur minimale** : 6,86 (en avril 2025)
- **Valeur maximale** : 6,98 (en juillet 2024)

Toutes les valeurs se situent dans la plage autorisée par l'OMS (6,5 - 8,5).

Les valeurs sont **en accord** avec celles de **Triki et Gheldene (2020), Hazzab (2011) et Sekiou et Kellil (2014)**.

Ces valeurs sont légèrement **inférieures** aux valeurs rapportées par **Jatoi et al., (2018)** (qui incluent des pH basiques jusqu'à 8.2).

La valeur maximale de 6.98 est **supérieure** à toutes celles observées chez **Hazzab (2011) et Sekiou et Kellil (2014)**, mais **inférieure** à celle de **Jatoi et al. (2018)**.

La valeur minimale de 6.86 est **supérieure** à celle de **Hazzab (2011)** (qui va jusqu'à 6.5), donc moins acide.

2.1.2. La conductivité Electrique (CE) :

La figure 72 représente les valeurs de la conductivité en ($\mu\text{s}/\text{cm}$), pour la source d'eau durant les deux périodes (2024-2025).

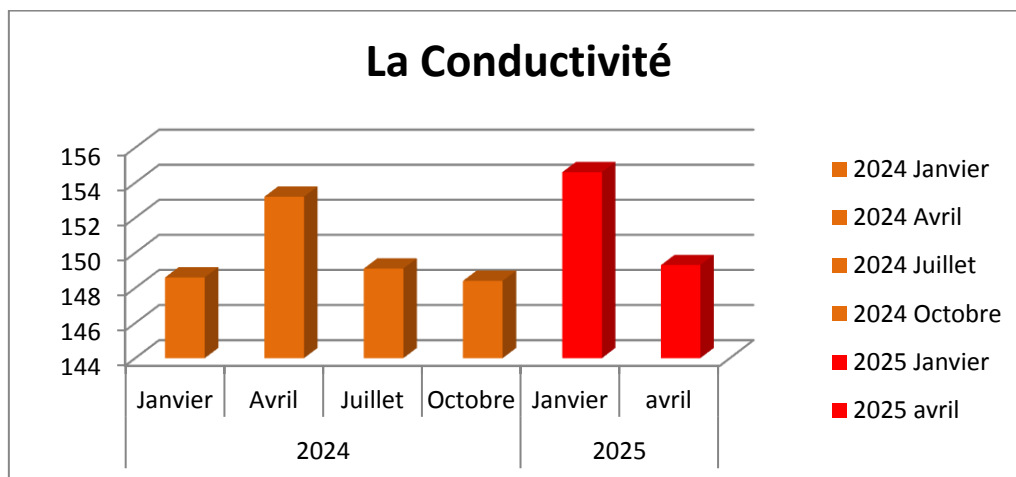


Figure 72 : Représentation graphique du teneur en conductivité.

- ✓ La valeur **la plus élevée** est observée en janvier 2025 (~155 µS/cm).
- ✓ La valeur **la plus basse** est en janvier 2024 (~148 µS/cm).

En général, les niveaux de conductivité sont plus élevés en 2025 qu'en 2024, notamment au début de l'année.

L'année 2024 montre une stabilité relative, tandis qu'en 2025 on observe une hausse suivie d'une légère baisse.

L'OMS ne fixe pas une limite stricte pour la conductivité, mais recommande qu'elle ne dépasse pas 400 à 500 µS/cm pour garantir une eau potable de bonne qualité.

Les valeurs enregistrées à **Aïn Bouglez** en 2024 et 2025 (entre 148 et 155 µS/cm) sont largement inférieures aux limites recommandées par l'OMS.

L'eau de cette source est donc de bonne qualité du point de vue de la conductivité électrique, bien qu'une légère augmentation ait été observée en 2025.

Toutes les valeurs de conductivité électrique mesurées à Aïn Bouglez durant les années 2024 et 2025 sont largement **inférieures** à celles rapportées par **Triki et Gheldene (2020)** (entre 1890 et 2790 µS/cm).

Cela confirme que l'eau de la source d'Aïn Bouglez présente une très bonne qualité du point de vue de la conductivité électrique.

2.1.3. Solides dissous totaux (TDS) :

La figure 73 représente les valeurs des solides dissous totaux (TDS), pour la source d'eau durant les trois périodes (2023-2024-2025).

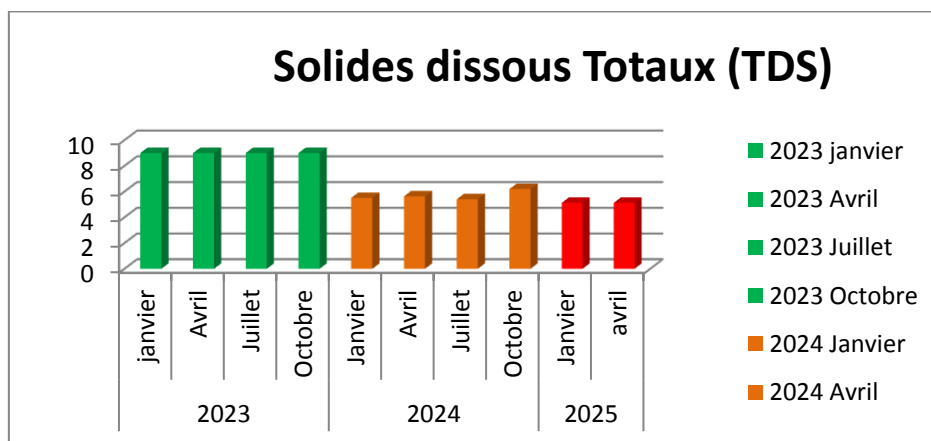


Figure 73 : Représentation graphique du teneur en TDS.

✓ **Année 2023:**

Les valeurs sont très élevées, avoisinant 9 unités tout au long de l'année.

Cela indique que l'eau de la source contenait une grande quantité de sels minéraux ou de matières dissoutes, ce qui la rend potentiellement non potable sans traitement.

✓ **Année 2024:**

On observe une baisse significative, les valeurs se situant entre 5,5 et 6,5 unités environ.

Cela montre une amélioration relative de la qualité de l'eau par rapport à 2023.

✓ **Année 2025:**

La baisse se poursuit, avec des valeurs atteignant environ 5 unités ou légèrement moins.

Cela reflète une amélioration continue de la qualité de l'eau.

La limite recommandée par l'OMS pour les solides dissous totaux (TDS) dans l'eau potable est d'environ 500 mg/L (ou 500 ppm).

La qualité de l'eau de la source Aïn Bouglez s'est nettement améliorée entre 2023 et 2025.

L'année 2023 a présenté les niveaux de TDS les plus élevés, tandis qu'en 2025, les valeurs se sont rapprochées des normes de l'OMS.

Il est important de continuer à surveiller la qualité de l'eau et à prendre des mesures supplémentaires pour réduire davantage les TDS, notamment en période de sécheresse ou de forte consommation.

Les valeurs de TDS en 2023 sont supérieures aux résultats de **Triki et Gheldene (2020)**, Avec un Valeur maximale \approx 9 unités tandis qu'en 2024, elles sont en accord avec un Valeur maximale \approx 6,5 unités

En 2025, elles sont inférieures, Valeur maximale \approx 5 unités reflétant une amélioration continue de la qualité de l'eau.

2.1.4. La Turbidité :

La figure 74 représente les valeurs de la turbidité pour la source d'eau durant les deux périodes.

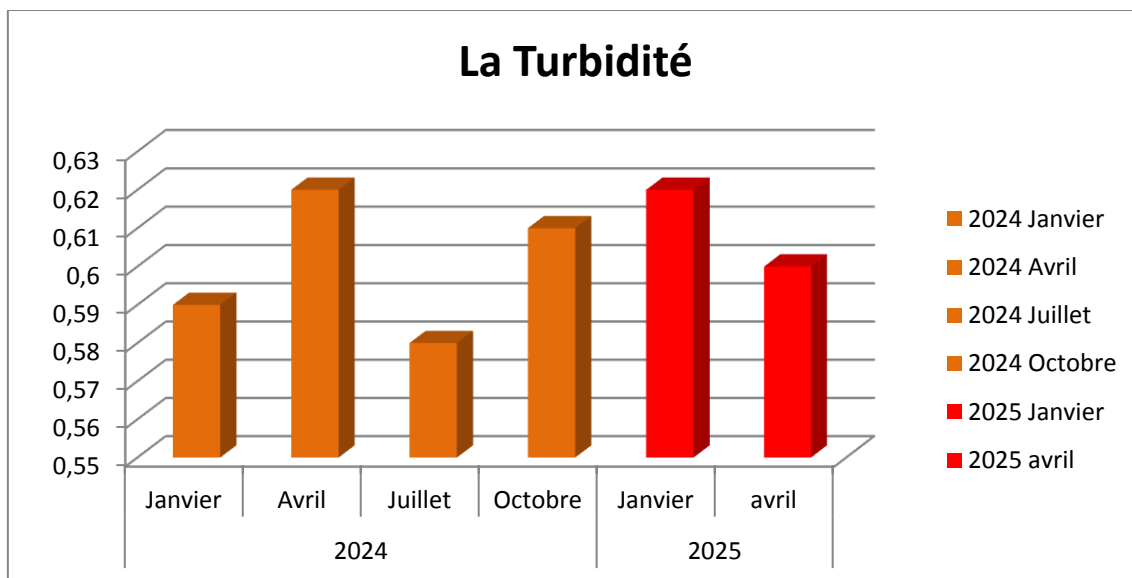


Figure 74 : Représentation graphique du teneur en Turbidité.

✓ **L'année 2024:**

Malgré quelques fluctuations, les valeurs restent dans une fourchette stable entre 0,57 et 0,62 NTU.

✓ **L'année 2025:**

Les valeurs restent proches, avec une amélioration légère en avril 2025 par rapport à avril 2024.

La limite maximale autorisée pour la turbidité de l'eau potable est de 5 NTU.

La valeur recommandée (objectif de qualité) est inférieure à 1 NTU, idéalement inférieure à 0,3 NTU après traitement.

Les valeurs varient entre 0,575 et 0,62 NTU → donc elles sont largement en dessous du seuil limite (5 NTU).

Toutefois, elles ne sont pas encore à un niveau optimal ($< 0,3$ NTU), surtout si l'eau est censée être traitée.

L'eau de la source Aïn Bouglez est acceptable du point de vue de la turbidité, car elle reste bien en dessous du seuil OMS de 5 NTU.

Il n'y a pas de variation majeure entre 2024 et 2025, mais une légère amélioration est observée en 2025.

- Si l'eau est non traitée, ces valeurs sont bonnes.
- Si elle est traitée, il serait souhaitable d'améliorer davantage la turbidité.

La turbidité varie entre 0,60 et 0,62 NTU, avec une valeur minimale de 0,60 NTU. Ces résultats sont **en accord** avec ceux de **Triki et Gheldene (2020)** et respectent largement la norme de l'OMS (5 NTU).

2.2. Les paramètres chimiques :

2.2.1. Le Nitrate (NO₃⁻) :

La **figure 75** représente les concentrations en nitrates de la source d'eau durant les trois périodes d'étude.

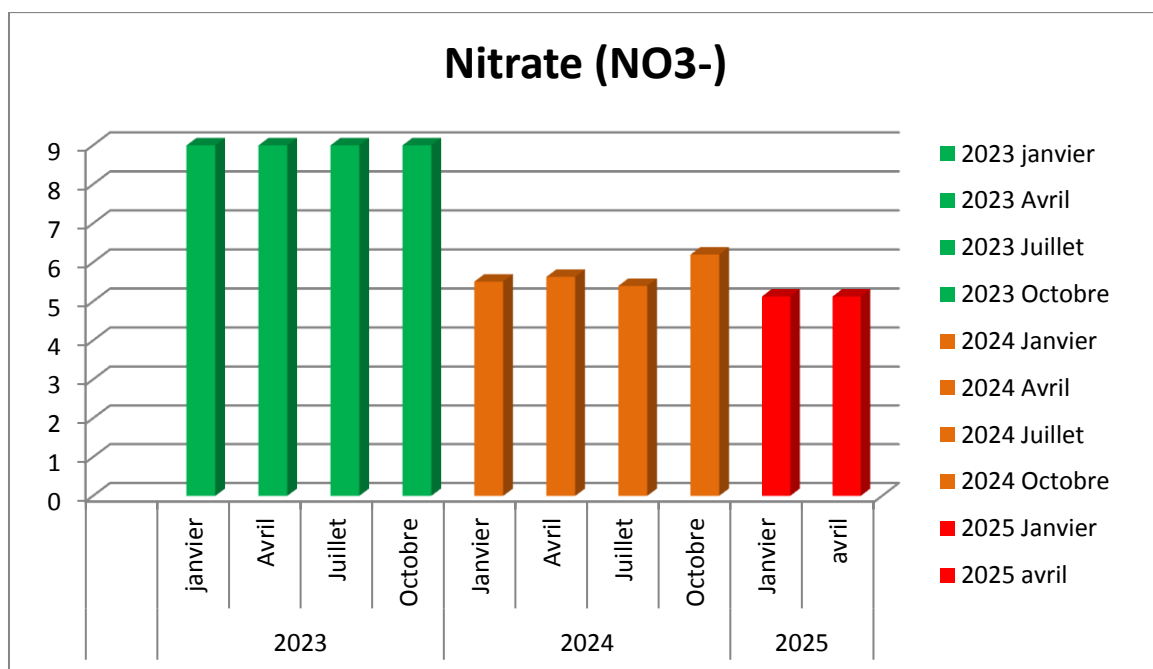


Figure 75 : Représentation graphique du teneur en nitrate.

✓ Année 2023:

Les teneurs sont constantes et élevées, avoisinant 9 unités durant toute l'année.

Cela indique une forte présence de nitrates, probablement d'origine agricole (engrais, infiltration...).

✓ **Année 2024:**

Une baisse nette est observée : les valeurs tournent autour de 6 à 6,5 unités.

Cela représente une amélioration notable de la qualité de l'eau.

✓ **Année 2025:**

Les taux chutent davantage, atteignant environ 5,5 unités.

La tendance générale est donc une réduction progressive de la concentration en nitrates.

Ces valeurs sont bien en dessous de la limite de 50 mg/L, donc l'eau est conforme aux recommandations de l'OMS.

Entre 2023 et 2025, la qualité de l'eau s'est améliorée en ce qui concerne la teneur en nitrates.

L'année 2023 a montré les niveaux les plus élevés (9 mg/L), mais cela reste bien en dessous de la norme OMS.

L'année 2025 marque le taux le plus bas, ce qui est encourageant pour la potabilité de l'eau.

Il est recommandé de continuer la surveillance, car les nitrates peuvent rapidement augmenter en cas d'activités agricoles intensives ou de contamination.

2.2.2. Le Nitrites (NO₂⁻) :

La figure 76 représente les teneurs en nitrites (NO₂⁻) pour la source durant les trois périodes.

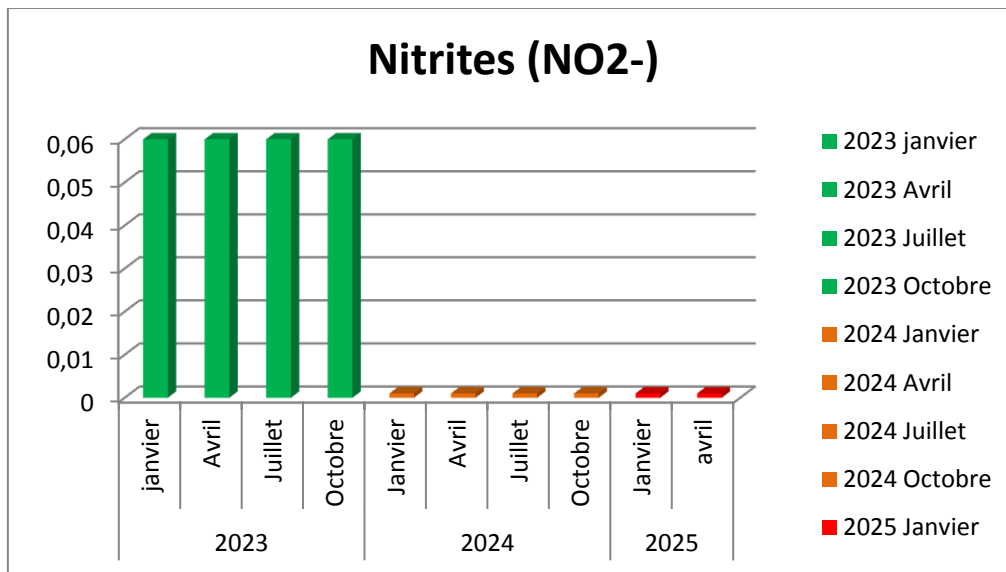


Figure 76 : Représentation graphique du teneur en nitrites.

Le graphique montre que la concentration en nitrites était relativement élevée en 2023 (environ 0,06 mg/L), puis elle a considérablement diminué à partir de janvier 2024, atteignant des niveaux presque nuls jusqu'en avril 2025.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la valeur guide pour les nitrites dans l'eau potable est de 0,2 mg/L. Par conséquent, toutes les valeurs observées dans ce graphique sont bien en dessous de cette limite.

La baisse significative à partir de 2024 indique une nette amélioration de la qualité de l'eau, probablement grâce à des mesures de traitement ou à une amélioration naturelle de la source.

La concentration en nitrites est restée inférieure aux normes internationales tout au long de la période.

L'amélioration observée depuis 2024 reflète une excellente qualité de l'eau en ce qui concerne les nitrites, sans nécessité d'interventions.

Les valeurs de nitrites observées en 2023 avoisinaient 0,06 mg/L, ce qui reste **inférieur** à la limite recommandée par l'OMS (0,2 mg/L) mais **supérieur** aux résultats obtenus par **Triki et Gheldene** (2020).

En revanche, durant les années 2024 et 2025, les concentrations ont considérablement diminué pour atteindre 0,001 mg/L, ce qui les rend largement inférieures à la fois aux normes internationales et aux valeurs rapportées par **Triki et Gheldene**, traduisant ainsi une nette amélioration de la qualité de l'eau.

Ces valeurs sont **inférieures** aux résultats obtenus par **Triki et Gheldene (2020)**

2.2.3. Le chlorure (Cl⁻) :

La **figure 77** représente les teneurs en chlorure (en mg/l) pour la source durant les trois périodes.

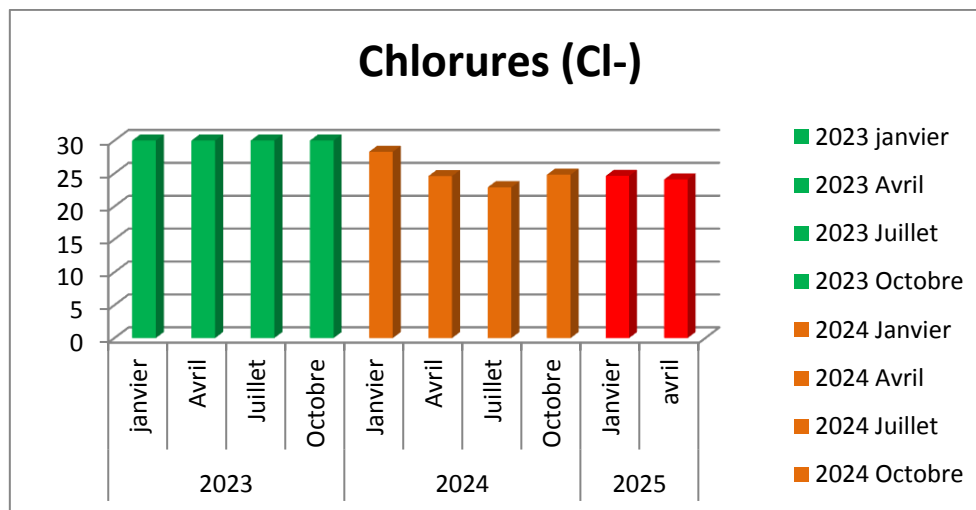


Figure 77 : Représentation graphique du teneur en chlorure.

- ✓ **En 2023** : les concentrations sont stables autour de 30 mg/L.
- ✓ **En 2024** : une baisse nette est observée, les valeurs tombant à 24–26 mg/L.

-Une diminution progressive entre 2023 et 2024

-Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, la limite indicative pour les chlorures est :

-250 mg/L, principalement pour des raisons organoleptiques (goût salé).

-Aucun risque pour la santé en dessous de ce seuil, sauf cas spécifiques (corrosion ou goût altéré).

-Les niveaux mesurés (24 à 30 mg/L) sont largement inférieurs à la limite recommandée (250 mg/L), donc aucun risque pour la santé.

-L'eau contient une faible concentration de chlorures, restée dans des niveaux idéaux tout au long de la période.

-Aucun dépassement n'a été observé, au contraire, une légère amélioration a été constatée avec le temps.

- L'eau est considérée comme potable en ce qui concerne la teneur en chlorures, selon les normes internationales.

Les teneurs en chlorures mesurées entre 2023 et 2025 sont **inférieures** aux résultats de **Triki et Gheldene (2020)**.

2.2.4. Magnésium (Mg²⁺) :

La figure 78 représente les teneurs en magnésium (mg /l), pour la source durant les trois Périodes.

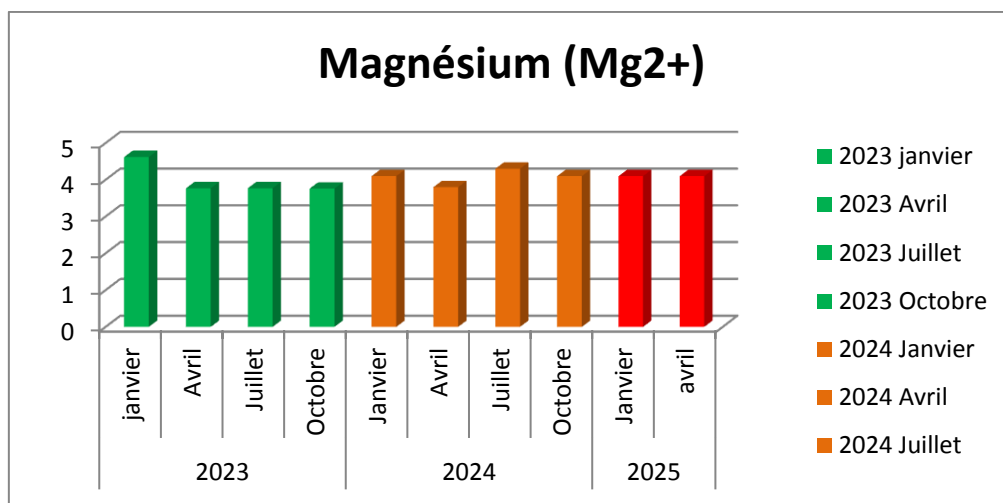


Figure 78 : Représentation graphique du teneur en magnésium.

-La concentration varie entre 4.0 et 4.5 mg/L sur toute la période.

-Une légère augmentation est visible en 2024, suivie d'une stabilisation en 2025.

-Aucune fluctuation anormale n'est observée.

-L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ne fixe pas de limite réglementaire stricte pour le magnésium.

-Elle indique néanmoins que :

-Des niveaux entre 10 et 50 mg/L sont sans danger.

-Au-delà de 30 mg/L, un goût indésirable peut apparaître.

->125 mg/L peut avoir un effet laxatif chez certaines personnes.

-Le niveau de magnésium dans l'eau est stable et dans des limites normales.

-La concentration est bien en dessous de tout seuil préoccupant selon les normes internationales.

-La qualité de l'eau en ce qui concerne le magnésium est excellent et ne nécessite aucune intervention.

Les teneurs en magnésium observées (entre 4,0 et 4,5 mg/L) sont **inférieures** à celles rapportées par **Triki et Gheldene (2020)**, qui varient généralement entre 10 et 25 mg/L. Les valeurs restent **en accord** avec les recommandations de l'**OMS**, bien en dessous des seuils critiques.

La valeur maximale (4,5 mg/L) est donc nettement **inférieure** aux concentrations maximales observées par ces auteurs. La qualité de l'eau à ce niveau est jugée excellente et ne nécessite aucune intervention.

2.2.5. Sulfate :

La figure 79 représente les teneurs en sulfate (mg/l), pour la source durant les trois Périodes.

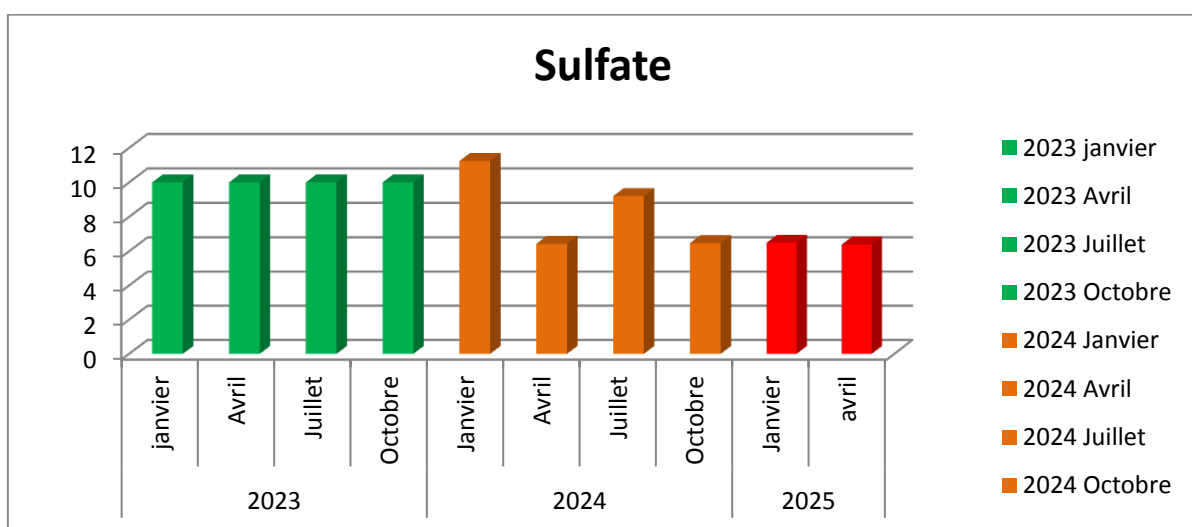


Figure 79 : Représentation graphique du teneur en sulfate.

Le graphique montre que la concentration en sulfates dans l'eau potable varie entre 7 et 11 mg/L entre janvier 2023 et avril 2025.

La concentration est restée stable en 2023 (autour de 10 mg/L), puis a fluctué légèrement en 2024 (entre 7 et 11 mg/L), avant de se stabiliser à 7 mg/L en 2025.

Selon l'Organisation mondiale de la santé, la valeur guide maximale pour les sulfates dans l'eau potable est de 250 mg/L.

Par conséquent, toutes les valeurs relevées sont largement inférieures à cette limite, indiquant une excellente qualité de l'eau sur ce paramètre.

La concentration en sulfates est faible et non préoccupante.

Aucune intervention n'est nécessaire, et l'eau est tout à fait potable selon les normes internationales.

Ces valeurs sont largement **inférieures** à la limite maximale recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), qui est de 250 mg/L pour les sulfates dans l'eau potable. Cela indique une excellente qualité de l'eau en ce qui concerne ce paramètre

2.2.6. Potassium :

La figure 80 représente les teneurs en potassium (mg/l), pour la source durant les trois Périodes.

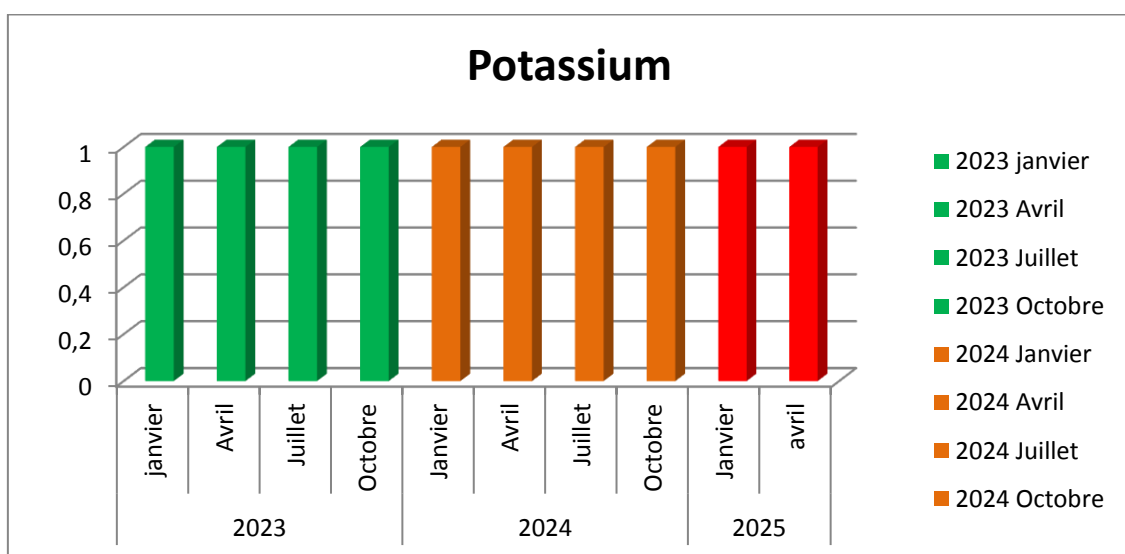


Figure 80 : Représentation graphique du teneur en potassium.

-La concentration reste stable autour de 1 mg/L durant toute la période observée.

-Aucune variation significative n'est détectée.

-Cela reflète une stabilité dans la qualité de l'eau du point de vue du potassium.

-L'organisation mondiale de la Santé (OMS) ne fixe pas de limite stricte pour le potassium dans l'eau potable.

-Toutefois, elle recommande que les niveaux restent inférieurs à 12 mg/L pour éviter les effets sur le goût.

- Des niveaux très élevés peuvent poser problème uniquement pour des personnes souffrant de maladies rénales.

- La stabilité de la concentration en potassium sur une période de deux ans et demi constitue un bon indicateur de la qualité de l'eau.

- La concentration enregistrée est parfaitement sûre selon les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

- Aucune mesure corrective n'est nécessaire pour le moment.

les concentrations en potassium mesurées entre 2023 et 2025 sont **inférieures** à la limite recommandée par l'OMS. Cela suggère que l'eau analysée présente une qualité optimale en ce qui concerne le potassium, sans nécessité d'intervention.

3. Résultats et discussions des Analyses microbiologiques :

Les résultats des analyses des paramètres microbiologiques réalisés au **laboratoire de qualité Berrahmoune Adel à Annaba** durant les trois périodes d'étude sont représentés dans le tableau :

Tableau III.2 : Résultats des Analyses microbiologiques (2023-2024-2025).

Année	Mois	<i>Escherichia coli</i>	Entérocoques	Spores anaérobies sulfite réducteurs à 46°C	Coliformes totaux	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
2023	Janvier	abs	abs	abs	abs	abs
	Avril					
	Juillet					
	Octobre					
2024	Janvier	abs	abs	abs	abs	abs
	Avril					
	Juillet					
	Octobre					
2025	Janvier	abs	abs	abs	abs	abs
	Avril					
	Juillet					
	Octobre					

Les analyses montrent l'absence totale des micro-organismes suivants dans les échantillons analysés au cours des trois années :

➤ ***Escherichia coli* :**

Son absence indique que l'eau n'a pas été contaminée par des matières fécales récentes, ce qui reflète une bonne hygiène.

➤ **Coliformes totaux :**

L'absence de ces germes témoigne d'une qualité microbiologique élevée, sans contamination organique.

➤ **Spores anaérobies sulfite-réducteurs à 46°C :**

Leur absence suggère qu'il n'y a pas eu de contamination ancienne ou récurrente.

➤ **Entérocoques :**

L'absence de ces bactéries confirme encore plus l'absence de pollution fécale, puisqu'elles sont des indicateurs fiables.

➤ *Pseudomonas aeruginosa* :

Son absence est rassurante, notamment pour les personnes vulnérables, car cette bactérie peut causer des infections opportunistes.

Les résultats obtenus sont pleinement conformes aux normes microbiologiques de l’OMS. L’eau est considérée comme potable, saine et sans risque microbiologique.

Indice de contamination microbiologique (ICM)

- ICM est basé sur le calcul de la présence/absence et concentrations des germes et leurs classification selon un barème : faible, moyenne, forte contamination.

Suite à nos résultats ; on observe une absence totale des germes pathogènes. Ces résultats Project un ICM très faible (absence d’une proximité d’élevage ou un réseau d’assainissement...).

Ces données montrent une corrélation significative entre pollution microbiologique et paramètres physico-chimiques.

Conclusion

L'eau constitue un élément naturel fondamental pour la vie humaine, le développement socio-économique ainsi que pour le maintien de l'équilibre écologique à l'échelle planétaire. L'analyse de la qualité des eaux permet d'appréhender l'importance des paramètres physico-chimiques dans l'évaluation de la potabilité et de l'usage de cette ressource. Dans ce contexte, la présente étude a été réalisée dans la région de Bouteldja (wilaya d'El Tarf), plus précisément au niveau de la source Ain Bouglez, dans le but d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique de ses eaux.

Cette recherche a pour objectif d'interpréter et analyser les résultats obtenus, afin de les comparer aux normes algériennes de potabilité ainsi qu'à des travaux antérieurs menés dans des contextes similaires. Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence plusieurs observations significatives :

Du point de vue physico-chimique et microbiologique, l'eau de la source d'Ain Bouglez présente une minéralisation modérée, traduite par des concentrations acceptables en résidus secs, témoignant d'une qualité globalement favorable.

La dureté de l'eau reste dans les limites recommandées, avec des teneurs en magnésium conformes aux normes établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Sur le plan de la pollution organique, les analyses ont révélé une absence notable de pollution ammoniacale et nitrique, ce qui témoigne d'une bonne protection de la source vis-à-vis des intrusions anthropiques.

À la lumière de ces résultats, nous pouvons conclure que l'eau de la source d'Ain Bouglez de Boutheldja présente une très bonne qualité physico-chimique et microbiologique, ce qui la rend apte à la consommation humaine et à d'autres usages domestiques, à la différence d'autres sources régionales qui présentent parfois une dégradation de la qualité.

Bibliographie

A

- **AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments).** *Évaluation des propriétés sanitaires et nutritionnelles des eaux minérales naturelles.* Maisons-Alfort: AFSSA, 2008.
- **Algérie.** Décret exécutif n° 05-127 du 4 mai 2005 fixant la qualité des eaux destinées à la consommation humaine. *Journal officiel de la République algérienne*, n° 32, 11 mai 2005, article 69.
- **Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, et Martin Smith,** *Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements—FAO Irrigation and Drainage Paper 56.*
- **APHA (American Public Health Association).** *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.* 23e éd. Washington, DC: American Public Health Association, 2017.

B

- **Barbaux R., 2007,** « Développement et diversité écologique : liens et connexions ? » in Mollard A., Sauboua E., Hirczak M. *Territoires et enjeux du développement régional : éditions Quae c/o INRA, Versailles.*
- **Bordet, Laurent,** *L'eau et la pollution: Une histoire des défis environnementaux (Paris: CNRS Éditions, 2007), 112.*
- **Bouziani, Mohamed.** *Contamination des eaux souterraines par les nitrates et les produits phytosanitaires dans la plaine de la Mitidja. Thèse de doctorat, Université Houari Boumediene, 2000.*

C

- **Cabral, João P. S.,** "Water Microbiology: Bacterial Pathogens and Water," *International Journal of Environmental Research and Public Health* 7, no. 10 (2010): 36-76.
- **Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC).** *Agents classés par les Monographies du CIRC, Volumes 1–108.* Lyon: CIRC, 2012.
- **Chaplin, Martin,** "Water in Biological Systems", *Water Structure and Science* (2001, dernière mise à jour: 2024), http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_biological_systems.html
- **Chéry, Jean-Pierre.** *La gestion durable de l'eau en France: Enjeux et perspectives.* Paris: Economica, 1999.
- **Chow, Ven Te, David R. Maidment, et Larry W. Mays.** *Applied Hydrology.* New York: McGraw-Hill, 1988.

D

- **Dupont, A., et al.** *Évaluation et gestion de la qualité des eaux potables.* Paris: Lavoisier, 2018.

E

- **Edberg, Stephen C., Robert D. Allen, Eric W. Rice, and Marvin J. Sadowski,** "Escherichia coli: The Best Biological Drinking Water Indicator for Public Health Protection," *Journal of Applied Microbiology* 88, N°: 1 (2000): 100S.

F

- **Fetter, C. W.** *Applied Hydrogeology*. 4e éd. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- **Funasa,** *Manual de Controle e de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano* (Brasília, DF: Funasa, 2013), 25.
- **Frisbie, S. H., et al.** "The Global Extent of Arsenic and Manganese Contamination in Groundwater." *Environmental Science & Technology* 46, no. 18 (2012): 10252-10259.

G

- **Ghazali D, Zaid A . 2013.** *Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès–Maroc)*. *Larhyss Journal*, 10(1) : 25-36. Disponible sur: <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/54906>
- **Gleick, Peter H.** *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York: Oxford University Press, 1993.
- **Graini, F.,** *Gestion des ressources en eau en Algérie: Défis et perspectives* (Alger: Office des Publications Universitaires, 2011), 30.
- **GUIRAUD, P.,** *Les locutions françaises, Vendôme, Presses Universitaires de France, coll. "Que sais-je?", 1980.*

J

- **Järup, Lars,** "Hazards of Heavy Metal Contamination," *British Medical Bulletin* 68, no. 1 (2003): 167.
- **Jean-Claude, Pierre,** *La mesure de la turbidité dans les eaux potables* (Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1983), 22.

K

- **Kraemer, Andreas.** *La qualité de l'eau potable: Réglementations et enjeux sanitaires*. Paris: Springer, 2019.

L

- **Lazhar, F.,** *La qualité de l'eau en Algérie: Enjeux et perspectives* (Alger: Office des Publications Universitaires, 2008), 45.
- **Leclerc, Henri, et al.** *Microbiologie des eaux: Concepts et applications*. Paris: Lavoisier, 2001.
- **Leclerc, Henri, et al.** *Microbiologie des eaux d'alimentation*. Paris: Tec & Doc Lavoisier, 1996.
- **Ledler, Michel.** *La Chimie de l'Eau: Paramètres et Analyse*. Paris: Masson, 1986.
- **Lemoine, Catherine, et al.** *Pollution des eaux par les substances toxiques: Origines, impacts et solutions*. Paris: Quæ, 2020.
- **Levallois, Patrick, et al.,** *Risques sanitaires liés aux nitrites dans l'eau potable* (Montréal: Institut National de Santé Publique du Québec, 2000), 45.

- **Lucet La Gardette, Florence.** *La couleur de l'eau: Indicateur de qualité et de pollution.* Paris: Tec & Doc Lavoisier, 2009.
- **Lutgens, Frederick K., et Edward J. Tarbuck,** *L'atmosphère: Une introduction à la météorologie* (Boston: Pearson Prentice Hall, 2010), 150.

M

- **Mackenzie, F. T., et al.,** *Chemistry of the Oceans: A Review of the Processes Controlling their Composition* (New York: John Wiley & Sons, 1981), 125.
- **Makhoukh, M., Sbaa, M., Berrahou, A., & Clooster Van M. (2011).** *Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental).* Larhyss Journal, N°: 09, 149-169.
- **Margat, Jacques.** *Les eaux souterraines dans le monde.* Paris: Tec & Doc, 2004.
- **McDonald, D.,** *The Biology of Single-Celled Life* (London: University Press, 1988), 72.
- **Menadet, Amel, et Bachir Metadjer,** *Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines: Cas de la nappe d'eau* (Thèse de magister, 2012), 45.
- **Merouani, A., et M. Bouguedah,** *Hydrologie et glaciologie: Contribution à l'étude des ressources en eau* (Alger: Office des Publications Universitaires, 2013), 60.

N

- **Nouayti, N., Khattach, D., Hilali, M. (2015).** *Evaluation De La Qualité Physico-Chimique Des Eaux Souterraines Des Nappes Du Jurassique Du Haut Bassin De Ziz (Haut Atlas Central, Maroc).* J. Mater. Environ. Sci.1068-1081. Issn: 2028-2508. Coden: Jmescn.

O

- **Olivaux Y., 2007,** *La Nature De L'eau,* Édition Marco Pietteur, Collection Résurgence.
- **Organisation mondiale de la Santé.** *Directives de qualité pour l'eau de boisson, Recommandations.* Genève: Organisation mondiale de la Santé, 2022.
- **Organisation mondiale de la Santé.** *Directives de qualité pour l'eau de boisson, Quatrième édition, intégrant le premier additif.* Genève: Organisation mondiale de la Santé, 2017.
- **Organisation mondiale de la Santé.** *Directives de qualité pour l'eau de boisson, Quatrième édition.* Genève: Organisation mondiale de la Santé, 2011.
- **Organisation mondiale de la Santé.** *Directives de qualité pour l'eau de boisson, Troisième édition, Volume 1: Recommandations.* Genève: Organisation mondiale de la Santé, 2004.
- **Organisation mondiale de la Santé.** *Directives de qualité pour l'eau de boisson, Volume 3: Surveillance et contrôle des approvisionnements communautaires.* Genève: Organisation mondiale de la Santé, 1998.

P

- **Payment, Pierre, et Paul R. Hunter,** *Microbiologie de l'eau potable et indicateurs de risques sanitaires* (Paris: Tec & Doc Lavoisier, 2001), 95.

R

- **Rejseck, Jiri.** *Chimie de l'eau en milieu naturel.* Paris: Lavoisier, 2002.
- **Rompré, A., P. Servais, J. Baudart, M. de Roubin, et P. Laurent,** "Detection of Bacterial Pathogens in Drinking Water: An Overview of Molecular Methods," *Journal of Microbiological Methods* 49, no. 1 (2002): 35.
- **Rodier, Jean, et al.,** *L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux usées, eaux de mer (11e éd.)* (Paris: Dunod, 2021), 150.
- **Rodier, Jean, et al.** *L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux usées, eaux de mer. 10e éd.* Paris: Dunod, 2009.
- **Rodier, Jean, et al.,** *L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux usées, eaux de mer (9e éd.)* (Paris: Dunod, 2005), 180.
- **Roustan, M., et A. Grasmick.** *Traitement de l'eau pour l'industrie.* Paris: Dunod, 2015.

S

- **Saidi S. (2014) :** *La qualité des eaux du sous bassin versant de l'Oued Aissi. Mémoire ingénieure.* Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou, Algérie, 169.
- **Savary, Eric.** *Principes de la surveillance de la qualité des eaux.* Lyon : Éditions de l'Eau, 2010.

U

- **UNESCO.** *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2021 : La valeur de l'eau.* Paris: UNESCO, 2021.
- **UNESCO,** *The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind* (Paris: UNESCO, 2019).

V

- **Villagines, Pierre,** *Contamination des écosystèmes aquatiques par les pesticides* (Paris: Tec & Doc Lavoisier, 2003), 85.

W

- **Ward, Roy C., et M. Robinson,** *Principes d'hydrologie* (New York: McGraw-Hill, 2000), 75.

Z

- **Zella, L., A. Benchabane, et S. Khemoudj,** "Analyse du marché de l'eau minérale embouteillée en Algérie et perspectives de développement," *Revue Algérienne des Sciences de l'Eau et de l'Environnement* 15, no. 1 (2024): 25.