



DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC
RESEARCH



جامعة الشاذلي بن جديد-الطارف
CHADLI BENDJEDID ELTARF UNIVERSITY
كلية علوم الطبيعة والحياة
FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES
قسم العلوم الفلاحية
DEPARTEMENT : SCIENCES AGRONOMIQUES

Mémoire de Fin d'Études
Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

«Sécurité Agroalimentaire et Assurance de Qualité»

Thème

Titre : -

**Contribution à l'étude de la qualité physicochimique de quelques eaux de source prélevées
dans la wilaya d'El-Tarf et étude comparative.**

Présenté Par : **Flidjane imane**

Soutenue publiquement le : 15/06/2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Haddad Leilla	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
Benrachou Nora	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examinatrice
Bencheikh Amel	MAA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Encadrante

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

"الحمد لله"

Seigneur des mondes le très-haut à qui appartient la perfection. Que la paix et la bénédiction soient sur notre prophète Muhammad son messenger digne de confiance, et sur tous les prophètes et messagers.

Je remercie Allah, le Très-haut, qui m'a permis de mener à bien cette recherche et j'exprime ma plus profonde gratitude et ma sincère. Reconnaissance à mon estimé professeur Mme Ben **Cheikh Amel**, qui m'a guidé tout au long de ce parcours.

Vous remerciements à tous les enseignants du département des Sciences Agronomiques, sur tous chefs département **Ben Rachou Noura**.

Ce travail n'a pu voir le jour, sans l'amabilité de **M'Djebaili Mourad**, directeur de ressources humaines du complexe FRTIAL, qui m'a accordé le bénéfice d'accéder au laboratoire de contrôle de qualité.

Enfin, à tous ceux qui m'ont aidé et ont joué un rôle, directement ou indirectement, dans la réalisation de cette étude.

Dédicace

{وقل ربي زدني علما}

A celui dont le front était ruisselant de sueur, qui m'a enseigné que le succès ne s'acquiert que par la patience et la persévérance, à la lumière qui a éclairé mon chemin et à la lampe dont la flamme ne s'éteint jamais dans mon cœur, de qui j'ai puisé ma force et ma fierté, mon Euphrate, à qui j'ai commencé à offrir ce que j'avais de plus précieux.

Mon cher père Flidjane Taïbe

A celle dont les pieds sont le fondement du paradis et dont les prières ont apaisé mes épreuves, à la grande femme qui a toujours ardemment souhaité me voir un jour comme celui-ci :

M très chère mère Dib Ghazla

A mon soutien indéfectible et à la source de mon force, à ceux qui ont fortifié ma détermination et sont beaux et aux plus purs jours de ma vie, à la lumière de mes yeux.

A mes chers frères et sœurs Marième, Mofida, Yazid, Nour Eddine, Khadija, et à mon jumeau Chahrazed.

Et Fatima, Ilham, Jihane, Omaïma. Ma plus profonde gratitude pour votre loguât et tout ce que vous m'avez apporté soutien et encouragement.

Imane

Résumé

L'eau constitue une ressource essentielle à la vie sur terre et joue un rôle fondamental dans de nombreux processus biologique, environnementaux et industriels. Les eaux destinées à la consommation humaine doivent répondre à plusieurs critères de qualité garantissant leur potabilité et leur innocuité sanitaire.

Ce travail a pour objectif d'étudier la qualité physico-chimique de quatre types d'eaux de source : L'eau de source d'Ain El Khishba, l'eau d'Ain Bargougaya, l'eau d'Ain Ben-Ismaïl et l'eau de source naturelle de Bouglez. Ainsi, que de types d'eaux de source embouteillées : Righia et Ain Bouglez. A cet effet, plusieurs paramètres physico-chimiques ont été analysés, notamment le pH, la dureté (TH), la conductivité, les sulfates, les chlorures, les nitrites, les nitrates, l'alcalinité (TA et TAC), ainsi que les teneurs en sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}).

Les résultats des analyses physicochimiques ont montré que l'ensemble des eaux étudiées est globalement conforme aux normes fixées par la réglementation algérienne relative aux eaux destinées à la consommation humaine. Les analyses, sous toute réserve, ont également révélé une bonne qualité physicochimique de ces eaux et leur conformité aux critères de qualité en vigueur.

Mots-clés : eaux de source, eaux de source embouteillées, caractéristiques physico-chimiques, qualité de l'eau, analyse physico-chimique.

Abstract

Water is an essential resource for life on earth and plays a fundamental role in numerous biological, environmental, and industrial processes. Bottled water for human consumption must comply with several quality standards to ensure its portability and sanitary safety.

The aim of this study is to evaluate the physicochemical quality of four types of natural water: Ain El kheshba water, Ain bargougaya water, Ain Ben-Ismail water, and Ain bouglez water natural, in addition to two types of bottled spring water: Righia and Ain Bouglez. For this purpose, several physicochemical parameters were analyzed, including pH, hardness, conductivity, sulfates, chlorides, nitrites, nitrates, alkalinity (TA and TAC), as well as sodium (Na^+), potassium (K^+), calcium (Ca^{2+}) and magnesium (Mg^{2+}) contents.

The results of the physicochemical analyses showed that all the studied waters generally comply with the standards established by Algerian regulations concerning water intended for human consumption. The analyses also revealed good physicochemical quality and conformity with the applicable quality standards.

Keywords: bottled water, spring water, physicochemical characteristics, water quality, and physicochemical analysis.

الملخص

يعد الماء مادة أساسية للحياة على سطح الأرض، إذ يؤدي دورا محوريا في مختلف العمليات البيولوجية والبيئية و الصناعية. كما يجب أن تستوفي المياه المخصصة للاستهلاك البشري مجموعة من معايير الجودة التي تضمن صلاحيتها للشرب وسلامتها الصحية.

يهدف هذا العمل إلى دراسة الجودة الفيزيائية و الكيميائية لأربعة أنواع من المياه الطبيعية وهي : مياه عين الخشبة، مياه عين برقوقاية، مياه عين بن إسماعيل ومياه الطبيعية لبوقلاز. بالإضافة إلى نوعين من مياه الينابيع المعبأة هما ريغية و عين بوقلاز. و لتحقيق هذا الهدف تم إجراء تحاليل لعدة مؤشرات فيزيائية وكيميائية شملت الرقم الهيدروجيني (pH)، الصلابة، الناقلية، الكبريتات، الكلوريدات، النترات، القلوية الكلية، إضافة إلى تركيزات الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+)، والكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنسيوم (Mg^{2+}).

أظهرت نتائج التحاليل الفيزيائية و الكيميائية أن جميع المياه المدروسة تتوافق بصورة عامة مع المعايير المحددة في الشريعات الجزائرية الخاصة بمياه الشرب والمياه المعبأة. كما بينت النتائج تمتع هذه المياه بجودة فيزيائية وكيميائية جيدة، مع احترامها لمعايير الجودة المعمول بها.

الكلمات المفتاحية : المياه المعدنية الطبيعية، مياه الينابيع، الخصائص الفيزيائية والكيميائية، جودة المياه، التحليل الفيزيائي و الكيميائي.

Liste des figures

Figure 1 : Réparation de l'eau sur terre	5
Figure 2 : Le grand cycle de l'eau	7
Figure 3 : Diagramme du processus d'exploitation de l'eau en bouteille en Algérie	31
Figure 4 : Laboratoire agronomique Fertial-Annaba.....	34
Figure 5 : A) Localisation géographique de la wilaya d'El-Tarf- B) Localisation géographique de la wilaya d'El-Tarf sur la carte d'Algérie	36
Figure 6 : Localisation géographique de la commune d'Oum Teboul dans la wilaya d'El-Tarf	37
Figure 7 : Localisation géographique de la commune El-Ayoun dans la wilaya d'El-Tarf	38
Figure 8 : Localisation géographique de la commune de Bouteldja dans la wilaya d'El-Tarf.....	39
Figure 9 : Localisation géographique de la commune de Bougous dans la wilaya d'El-Tarf ..	40
Figure 10 : Source Ain Bargougaya.....	40
Figure 11 : Source Ain ben-Ismaïl	42
Figure 12 : Source Ain El-Khishba	43
Figure 13 : Source naturelle de Bouglez.....	44
Figure 14 : Le pH-mètre	45
Figure 15 : Le conductimètre	47
Figure 16 : Solution tampon (pH=10)	48
Figure 17 : Détermination du titre hydrométrique (dureté de l'eau)	49
Figure 18 : Détermination du titre alcalimétrique (TA)	51
Figure 19 : Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)	53
Figure 20 : Dosage des Chlorures	55
Figure 21 Le Réactif Nitra Ver 2	56
Figure 22 :Le spectrophotomètre ..	56
Figure 23 : Le Réactif Nitra Ver 5	58
Figure 24 : Le Réactif Sulfa Ver 4	59
Figure 25 : Le spectrophotomètre démission de flammes	61
Figure 26 : Les Résultats des ions Sodium et potassium.....	62
Figure 27 : Dosage de calcium.....	64
Figure 28 : Résultats de la teneur en sulfates.....	74
Figure 29 : Résultats de la teneur en chlorure.....	75
Figure 30 : Résultats de la teneur en nitrates	76
Figure 31 : Résultats de la teneur en nitrites.....	77

Figure 32 : Résultats de la teneur en potassium.....	78
Figure 33 : Résultats de la teneur en sodium	79
Figure 34 : Résultats de la teneur en calcium	80
Figure 35 : Résultats de la teneur en magnésium.....	81
Figure 36 : Résultats de la teneur en conductivité.....	82
Figure 37 : Résultats de la teneur en potentiel hydrogéné (pH).....	83
Figure 38 : Résultats de la teneur en titre hydrométrique (TH).....	85
Figure 39 : Résultats de la teneur en Titre alcalimétrique complète.....	86

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification des eaux après leur pH	16
Tableau 2 :Classification des eaux selon la conductivité	16
Tableau 3 : Classification des eaux selon la dureté totale	17
Tableau 4 :Classification des eaux minérales selon leur minéralisation	24
Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques.....	66
Tableau 6 :Résultats des analyses et valeurs de la norme de source Ain El-Khishba.....	68
Tableau 7 :Résultats des analyses et valeurs de la norme de source AinBargougaya.....	69
Tableau 8 : Résultats des analyses et valeurs de la norme de source Ain Ben-Ismaïl	70
Tableau 9 : Résultats des analyses et valeurs de source naturelle de bouglez	71
Tableau 10 :Résultats des analyses et valeurs de l'étiquetage de la marque Ain Bouglez	72
Tableau 11 :Résultats des analyses et valeurs de l'étiquetage de la marque Righia	73
Tableau 12 : Classification selon titre hydrométrique (TH).....	89

Liste des abréviations

T° : Température

°C : Degré Celsius

°F : Degré français

EDTA : Acide éthylène diamine tétra-acétique

PH : Potentiel Hydrogène

NaOH: Hydroxyde de Sodium

N.E.T :Noir Eriochrome T

ISO :International standards organization

JORA : Journal officiel de la république algérienne

OMS :Organisation mondiale de santé

Min:Minute

µs:micro siemens

cm:centimètre

m/s : milli siemens

Nm:Nanomètre

L:Litre

Mg:Milligramme

NaCl:chromate de sodium

KCl: chromate de potassium

Sommaire

Résumé

Abstract

الملخص

Liste de figure

Liste de tableau

Liste abréviation

Introduction	1
1. L'eau.....	4
1.1 Répartition de l'eau sur la Terre.....	4
1.2 cycle de l'eau.....	5
1.3 L'importance de l'eau.....	7
1.3.1 Importance de l'eau pour l'organisme humain.....	7
1.3.2 Importance de l'eau dans l'agriculture	8
1.3.3 Importance de l'eau dans l'industrie alimentaire	8
2. Eau potable – Eau de consommation.....	8
2.1 Les types d'eau potable	9
2.1.1 Eau robinet.....	9
2.1.2 Eau minérale naturelle EMN.....	10
2.1.3 Eau de source	11
3. Qualité de l'eau de consommation	12
3.1 Qualité organoleptique	12
3.1.1 Couleur	13
3.1.2 Odeur	13
3.1.3 Goût et saveur	13
3.1.4 Turbidité	14
3.2 Qualité physico-chimique	14
3.2.1 Paramètres physiques	14
3.2.1.1 La température	15
3.2.1.2 Potentiel hydrogène (pH).....	15
3.2.1.3 Conductivité.....	16
3.3 Paramètre chimique.....	18
3.3.1.1 Calcium (Ca^{2+}).....	18
3.3.1.2 Magnésium (Mg^{2+})	18
3.3.1.3 Sodium (Na^{+})	18
3.3.1.4 Potassium (K^{+})	19
3.3.1.5 Chlorures (Cl^{-})	20

3.3.1.6 Sulfates (SO_4^{2-})	20
3.3.1.7 Nitrites (NO_2^-).....	21
3.3.1.8 Nitrates (NO_3^-)	22
3.3.1.9 Alcalinité (TA, TAC)	22
3.3.1.10 Carbonates (CO_3^{2-})	23
3.3.1.11 Bicarbonates (HCO_2^-).....	23
3.3.1.12 Résidu sec	23
3.3.1.13 Substances toxiques	24
3.3.1.13.1 Plomb(Pb).....	24
3.3.1.13.2 Chrome(Cr)	24
3.3.1.13.3 Arsenic (As)	25
3.3.1.13.4 Mercure	25
3.3.1.13.5 Cyanures (CN).....	25
3.3.1.13.6 Sélénium (Se)	26
3.3.1.13.7 Cadmium (Cd)	26
3.3 Qualité microbiologique	26
3.3.1 Les germes aérobies revivifiables	26
3.3.2 Coliformes	27
3.3.3 Clostridium sulfato-réducteur.....	27
3.3.4 Les entérocoques (groupe D)	28
4. Processus d'exploitation de l'eau en bouteille	28
4.1 En Algérie.....	28
5. Consommation d'eau dans le monde et en Algérie	32
5.1 Dans le monde.....	32
5.2 Dans Algérie	32
1. Présentation de la région d'étude	35
2. Présentation des zones d'étude.....	36
3. Présentation des sources de prélèvement	40
1. Analyses physicochimiques	45
1.1 Détermination du potentiel hydrogène (pH)	45
1.2 Détermination de la conductivité	46
1.3 Détermination de la dureté – Titre hydrotimétrique (TH)	47
1.4 Titre Alcalimétrique (TA).....	49
1.5 Titre Alcalimétrique Complete (TAC).....	51
1.6 Dosages des chlorures	53
1.7 Dosages des nitrites (NO_2^-).....	55

1.8 Dosage des nitrates (NO_3^-).....	56
1.9 Dosage des sulfates (SO_4^{2-}).....	58
1.10 Détermination des cations potassium (K^+) et sodium (Na^+)	59
1.11 Détermination des ions de calcium.....	62
1.12 Dosage de magnésienne (Mg^{2+})	64
2. Résultats et discussion	66
2.1 Composition chimique.....	67
2.1.1 Comparaison des résultats des analyses avec les normes JORA.....	67
2.1.1.1 Eaux source Ain El-Khishba	67
2.1.1.2 Ain Bargougaya	69
2.1.1.3 Ain Ben-Ismaïl.....	70
2.1.1.4 Source naturelle de Bouglez	71
2.1.1.5 Ain Bouglez	72
2.1.1.6 Righia	73
2.2 Composition physicochimique.....	74
2.2.1 Sulfate (SO_4^{2-})	74
2.2.2 Chlorures (Cl^-).....	75
2.2.3 Nitrates (NO_3^-)	76
2.2.4 Nitrites (NO_2^-)	77
2.2.5 Potassium (K^+)	78
2.2.6 Sodium (Na^+)	79
2.2.7 Calcium (Ca^{2+})	80
2.2.8 Magnésium (Mg^{2+})	81
2.2.9 Conductivité.....	82
2.2.10 Potentiel de hydrogène (pH)	83
2.2.11 Titre hydrométrie (TH)	84
2.2.12 Titre alcalimétrique complet (TAC).....	86
2.2.13 Titre alcalimétrique (TA).....	87
2.3 Classification des eaux analysées.....	87
2.3.1 Classification selon composition ionique	87
2.3.2 Classification selon titre hydrométrique (TH) ou dureté	89
Conclusion.....	66
Référence Bibliographique.....	93
Annexe	

INTRODUCTION

Introduction

Introduction

L'eau constitue une ressource indispensable à la vie sur Terre et joue un rôle fondamental dans le maintien des équilibres biologiques et écologiques. Elle est essentielle à la majorité des activités humaines et représente un facteur déterminant pour la santé, la sécurité et le bien-être des populations. En tant que composant majeur des organismes vivants, l'eau intervient dans la plupart des processus biologiques et métaboliques. Elle est utilisée pour de nombreux usages, notamment la consommation humaine, l'assainissement et l'hygiène. De plus, elle contribue de manière significative au développement et au maintien de la vie humaine, animale et végétale. Par conséquent, la préservation de cette ressource, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, constitue un enjeu majeur pour le développement durable.

La santé des populations est fortement influencée par la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, ainsi que par les conditions d'assainissement et d'hygiène. Une eau potable de mauvaise qualité constitue un facteur majeur de risque pour la santé publique, notamment en favorisant la transmission de maladies d'origine hydrique. Selon un rapport de l'Organisation mondiale de la Santé, les maladies diarrhéiques liées à la consommation d'aliments ou d'eau contaminés entraînent chaque année le décès de plusieurs millions de nourrissons et d'enfants à travers le monde. Les principales sources d'approvisionnement en eau douce comprennent les rivières, les lacs, les eaux de pluie ainsi que les sources naturelles **(Boly, 2014)**. L'eau de source constitue une ressource indispensable à la vie humaine. Caractérisée par des propriétés physico-chimiques généralement favorables, elle est souvent considérée comme une eau d'origine naturelle et de bonne qualité. Sa consommation est fréquemment associée à un apport en éléments minéraux essentiels au bon fonctionnement de l'organisme.

Les eaux souterraines en Algérie représentent une ressource essentielle en eau douce et jouent un rôle déterminant dans l'approvisionnement en eau potable et dans les activités agricoles. Toutefois, ces ressources sont de plus en plus exposées à divers types de pollution d'origine superficielle. Cette contamination résulte principalement des activités industrielles, agricoles ainsi que des rejets urbains issus des systèmes d'assainissement. L'ensemble de ces sources polluantes peut altérer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines, ce qui peut compromettre leur utilisation pour la consommation humaine et pour l'irrigation agricole **(Guerzou, 2008)**.

En Algérie, le secteur de l'eau embouteillée connaît, depuis plusieurs années, une augmentation notable de la consommation. Cette évolution de la demande a favorisé

Introduction

L'implantation et le développement de nombreuses unités de production et d'embouteillage à travers le territoire national. Par ailleurs, cette dynamique s'inscrit dans une tendance plus large marquée par une croissance continue de la consommation d'eau embouteillée à l'échelle mondiale.

La sécurité sanitaire des eaux destinées à la consommation humaine, leur composition chimique riche en éléments minéraux, leurs caractéristiques organoleptiques ainsi que leurs éventuelles propriétés thérapeutiques représentent des facteurs déterminants pour la préservation de la santé des consommateurs.

Dans cette perspective, les autorités compétentes à l'échelle nationale et internationale ont insaturé des normes de qualité relatives aux paramètres organoleptiques, microbiologiques et physico-chimiques afin d'assurer la conformité et l'innocuité des eaux potables.

C'est dans ce cadre que la présente étude a été réalisée au sein du laboratoire de contrôle qualité du Groupe Fertial. Elle repose sur l'analyse comparative d'échantillons d'eaux prélevés dans quatre zones sélectionnées aléatoirement au niveau de la wilaya d'El-Tarf, ainsi que de deux marques d'eaux embouteillées commercialisées dans cette région.

La partie pratique de ce travail est subdivisée en trois parties principales :

- Première partie, à caractère théorique, est consacrée à une étude bibliographique portant sur le cadre générale de la zone d'étude. Elle permet de présenter les notions fondamentales relatives à l'eau destinée à la consommation humaine et les principaux paramètres intervenant dans l'évaluation de leur qualité.
- Deuxième partie, l'évaluation de la stabilité de la composition chimique des différentes eaux étudiées, à travers la comparaison des résultats analytiques obtenus avec les normes algériennes relatives aux eaux de source et aux eaux minérales naturelles publiées au journal officiel de la république algérienne démocratique et populaire, ainsi qu'avec les indications mentionnées sur les étiquettes des eaux embouteillées sélectionnées.

Introduction

- Troisième partie, la vérification de la conformité de certains paramètres physico-chimiques analysés par rapport aux exigences réglementaires algériennes applicables aux eaux de source et eaux minérales naturelles.

Enfin, la conclusion générale de cette étude permet de synthétiser les principaux résultats obtenus et de proposer certaines perspectives de recherche.

L'objectif principal de ce travail consiste à réaliser une analyse physico-chimique des eaux destinées à la consommation humaine au niveau de la wilaya d'El-Tarf, afin d'évaluer leur qualité et leur conformité aux normes en vigueur.

CHAPITRE 01

GÉNÉRALITÉ DE L'EAU

1. L'eau

L'eau est une substance incolore, inodore et insipide, constituant un élément essentiel au maintien de la vie sur terre (**Larousse, 2002**).

Elle se distingue par sa capacité à exister naturellement sous les trois états physiques de la matière (solide, liquide et gazeux) dans des conditions de température courantes. A l'état solide, l'eau forme la glace, présente notamment dans les glaciers et les calottes polaires, ainsi que sous forme de neige et de grêle. A l'état liquide, elle constitue les gouttelettes présentes dans certains nuages et apparaît également sous forme de rosée à la surface des végétaux.

Environ 70% de la surface terrestre est recouverte d'eau, principalement sous forme liquide, mais également sous forme gazeuse dans l'atmosphère. Cette absorbance confère à l'eau un rôle fondamental dans l'évolution de la vie et dans l'histoire d'humanité. En raison de ses propriétés physico-chimiques remarquables et parfois atypiques, elle demeure un sujet d'intérêt majeur pour la communauté scientifique (**Gasmi, 2011**).

1.1 Répartition de l'eau sur la Terre

Les océans et les mers couvrent environ 71 % de la surface terrestre et renferment près de 1350 millions de km³ d'eau salée. Une partie importante de l'eau douce mondiale est stockée sous forme solide, notamment dans les glaciers et les calottes glaciaires, où l'on estime environ 29 millions de km³. Par ailleurs, l'eau douce présente à la surface de la Terre et dans les sols représente approximativement 8,6 millions de km³.

Dans l'atmosphère, l'eau se trouve également sous forme de vapeur d'eau, dont le volume est estimé à environ 13 000 km³. Les besoins annuels en eau pour les activités humaines sont évalués entre 4000 et 5000 km³ par an.

Pour répondre à ces besoins, l'être humain peut exploiter différentes sources d'eau. La première consiste à collecter les eaux météoriques, notamment l'eau de pluie. Toutefois, cette eau peut présenter certaines limites pour la consommation humaine en raison de sa composition chimique et des conditions de collecte et de stockage, qui peuvent altérer sa qualité.

Une seconde possibilité est l'utilisation des eaux de surface, telles que les rivières, les lacs et les barrages. Cependant, ces eaux nécessitent généralement un traitement préalable afin d'être rendues potables et adaptées à la consommation(Viland, M et al, 2001). (Fig 1).

Enfin, l'homme peut également exploiter les ressources en eaux souterraines. Lors de leur infiltration à travers les différentes couches du sol, ces eaux subissent un processus naturel de filtration et de purification. En règle générale, plus les nappes sont profondes, plus l'eau est claire et de meilleure qualité, ce qui la rend souvent plus appropriée à la consommation humaine.

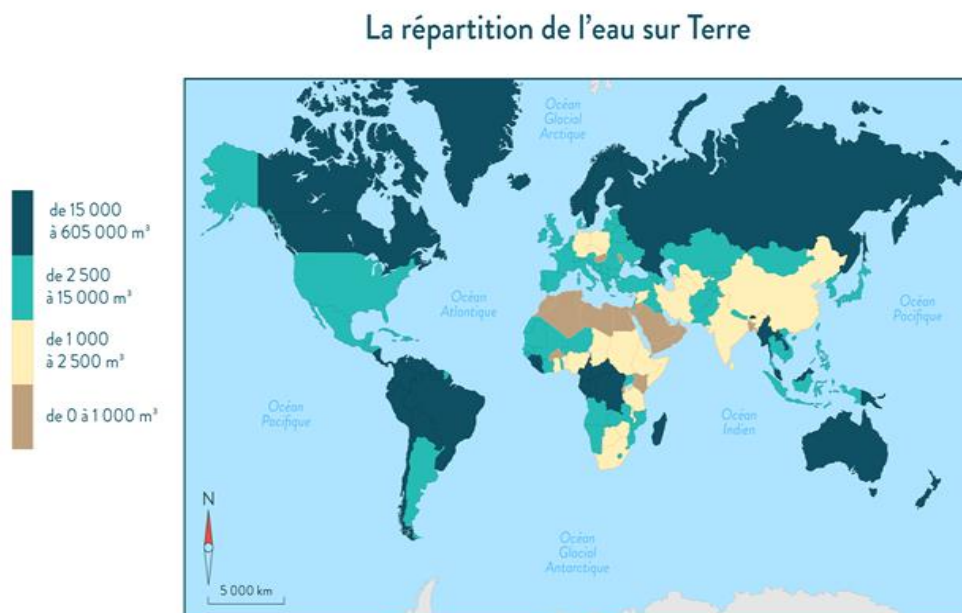


Figure 1 : Répartition de l'eau sur terre

1.2 cycle de l'eau

Le cycle hydrologique constitue l'un des principaux mécanismes de régulation énergétique du système Terre océan atmosphère. Sous l'effet de l'énergie solaire, l'eau s'évapore à partir de la surface des océans et des continents, puis est transportée dans l'atmosphère où elle séjourne en moyenne pendant une courte durée avant de retomber sous forme de précipitations sur les océans et les surfaces continentales. Sur les continents, une partie de cette eau retourne vers l'atmosphère par évaporation directe après les précipitations, ainsi que par la transpiration des végétaux, processus regroupés sous le terme d'évapotranspiration(Berdal, 2021). (Fig 2).

D'un point de vue schématique, la circulation de l'eau s'effectue entre trois grands compartiments : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère.

- **L'évaporation**

Correspond au processus par lequel l'eau liquide se transforme en vapeur sous l'action de la chaleur, principalement fournie par le rayonnement solaire. Ce phénomène constitue l'un des principaux mécanismes permettant à l'eau d'intégrer l'atmosphère, notamment à partir des océans.

- **La condensation**

Quant à elle, se produit lorsque la vapeur d'eau entre en contact avec des couches d'air plus froides dans l'atmosphère. Elle se transforme alors en fines gouttelettes d'eau qui, sous l'effet des mouvements atmosphériques, s'agrègent pour former les nuages.

- **Les précipitations**

Les précipitations correspondent au processus par lequel l'eau contenue dans l'atmosphère est libérée sous différentes formes telles que la pluie, la neige ou la grêle. Elles constituent l'un des principaux mécanismes permettant le retour de l'eau atmosphérique vers la surface terrestre, jouant ainsi un rôle essentiel dans le cycle hydrologique.

- **L'infiltration (et le ruissellement)**

Après leur chute sous forme de pluie ou de neige, une partie des eaux pénètre dans le sol et les formations rocheuses par infiltration. Une fraction de cette eau est absorbée par la végétation, participant à son alimentation avant d'être restituée à l'atmosphère par évapotranspiration. L'autre fraction s'accumule dans les couches souterraines pour constituer des nappes phréatiques, lesquelles peuvent parfois réapparaître à la surface sous forme de sources.

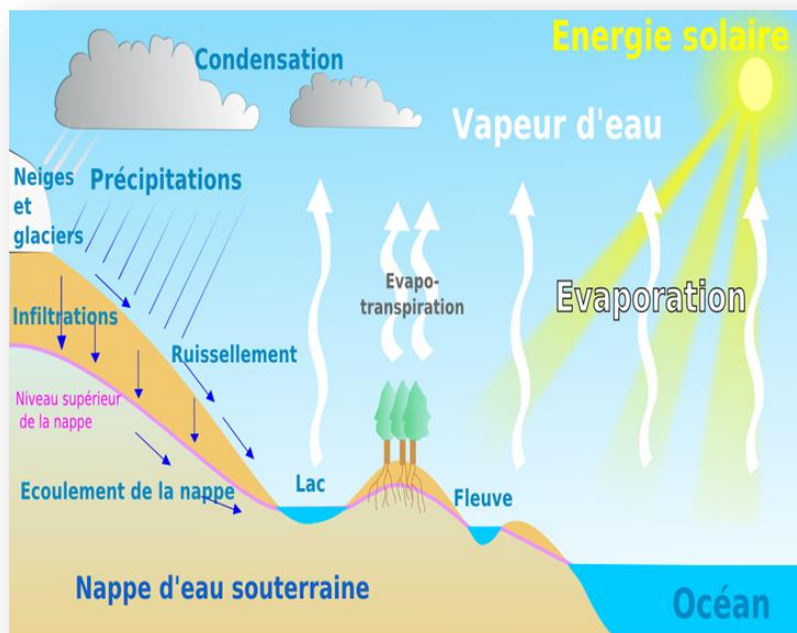


Figure 2 : Le grand cycle de l'eau

1.3 L'importance de l'eau

L'eau est l'une des ressources naturelles les plus essentielles sur Terre et elle est fondamentale pour la survie de tous les organismes vivants. Elle joue un rôle vital dans le maintien des écosystèmes, la régulation du climat et le soutien des activités humaines telles que l'agriculture, l'industrie et l'usage domestique. L'accès à une eau sûre et suffisante est également crucial pour la santé publique, le développement économique et la durabilité environnementale(WHO, 2017).

1.3.1 Importance de l'eau pour l'organisme humain

L'eau représente environ 60 % de la masse corporelle d'un adulte, soit près de 50 litres pour une personne de 70 kg. Cette proportion peut varier en fonction de plusieurs facteurs tels que l'âge, le sexe et la composition corporelle, notamment la masse grasse. À l'échelle cellulaire, les deux tiers de l'eau totale de l'organisme sont contenus dans les cellules, ce qui illustre le rôle fondamental de cette molécule dans le fonctionnement biologique. L'eau intervient dans de nombreux processus physiologiques : elle participe au transport des éléments figurés du sang ainsi qu'à celui de différentes sécrétions biologiques telles que les larmes et les sucs digestifs. Elle contribue également à la régulation de la température corporelle par le

phénomène de sudation et permet l'élimination des déchets métaboliques solubles par l'urine. Ainsi, à l'instar de l'air, l'eau est indispensable au maintien de la vie, et une privation prolongée au-delà de quelques jours peut entraîner de graves conséquences physiologiques, voire la mort(CNRS).

1.3.2 Importance de l'eau dans l'agriculture

Au niveau planétaire, l'eau joue un rôle déterminant dans l'équilibre des systèmes naturels. Sous forme liquide, elle participe activement aux processus géomorphologiques, contribuant à la formation et à l'évolution des reliefs terrestres. L'eau a également joué un rôle majeur dans l'apparition de la vie sur Terre et demeure indispensable à son maintien. Sous forme gazeuse, la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère agit comme un régulateur thermique et participe à la protection de la biosphère contre les rayonnements ultraviolets du soleil. Durant la journée, elle atténue l'intensité du rayonnement solaire reçu par la surface terrestre, tandis que durant la nuit, elle limite les pertes de chaleur par rayonnement infrarouge. Ce mécanisme contribue à la stabilité thermique de la planète. Par ailleurs, la vapeur d'eau joue un rôle important dans les échanges d'énergie entre les océans, l'atmosphère et les continents, favorisant ainsi la régulation du climat global(CNRS).

1.3.3 Importance de l'eau dans l'industrie alimentaire

Dans l'industrie alimentaire, l'eau est largement utilisée comme ingrédient, milieu de transformation et agent de nettoyage. Elle joue un rôle clé dans la préparation des aliments, la désinfection des équipements, ainsi que dans les de refroidissement et de chauffage. Une eau de haute qualité est essentielle pour maintenir l'hygiène, garantir la sécurité des produits et respecter les normes de sécurité alimentaire pendant la production(FAO, 2013).

2. Eau potable – Eau de consommation

L'eau potable est définie comme une eau destinée à la consommation humaine répondant aux critères microbiologiques, physico-chimiques et organoleptiques établis par Organisation mondiale de la santé (OMS) ou les normes nationales concernant la qualité de l'eau potable. Elle doit satisfaire l'absence de tout risque sanitaire pour les consommateurs. Ainsi, une eau potable doit être exempte ou ne contenir qu'à de très faibles concentrations des microorganismes pathogènes tels que les bactéries, les virus, les protozoaires et les parasites. De plus, elle ne doit pas contenir de produits chimiques nocifs, notamment des métaux lourds, des pesticides,

des produits pharmaceutiques et autres contaminants chimiques. Les caractéristiques physiques de l'eau potable, telles que la turbidité, la couleur et l'odeur, doivent être conformes aux valeurs recommandées par l'Organisation mondiale de la Santé (**OMS, 2013**).

Les caractéristiques d'une eau potable reposent sur des critères organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques stricts.

Sur le plan organoleptique, l'eau potable doit être limpide, incolore, inodore et présenter une fraîcheur appréciable, ces propriétés étant directement perceptibles par les sens humains.

Du point de vue physico-chimique, elle doit contenir une faible concentration en sels minéraux, notamment les carbonates, sulfates et chlorures. Ces éléments contribuent à lui conférer une saveur légèrement perceptible et agréable ainsi qu'une certaine valeur nutritive. Toutefois, la teneur totale en sels dissous ne doit pas dépasser 0,5 g/L afin de garantir sa potabilité (**Dégerment, 1984**).

Par ailleurs, l'eau potable doit être exempte de matières organiques, dont la présence constitue un indicateur de contamination. Ces substances favorisent le développement microbien et peuvent, en se décomposant, engendrer des odeurs désagréables ainsi que des composés potentiellement toxiques.

Enfin, sur le plan microbiologique, l'eau potable doit être dépourvue de germes pathogènes, de parasites et de micro-organismes nuisibles à la santé. Néanmoins, elle n'est pas totalement stérile : la présence de bactéries non pathogènes est tolérée dans des limites généralement comprises entre 100 et 1000 bactéries par cm³.

2.1 Les types d'eau potable

Selon ses origines, l'eau potable-eau consommation se distingue en trois (03) grandes catégories. Chacune d'elles présente des caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et microbiologiques spécifiques, tout en respectant les normes de potabilité en vigueur :

2.1.1 Eau robinet

L'eau potable distribuée à travers les réseaux municipaux, communément appelée (eau du robinet), destinée à la consommation 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**). Après son captage,

cette eau subit différents traitements visant à éliminer les impuretés et à garantir sa potabilité. Un procédé de désinfection, généralement basé sur l'ajout de chlore, est appliqué afin d'assurer le maintien de sa qualité microbiologique durant son transport jusqu'au consommateur. Par ailleurs, la qualité de l'eau du robinet est strictement encadrée par des normes sanitaires et fait l'objet de contrôles réguliers, ce qui garantit la sécurité de sa consommation.

Elle doit répondre à des critères de potabilité, la rendant exempte de tous types de contamination, notamment être dépourvue de contaminations chimiques, tels que les métaux lourds, les résidus de pesticides et autre substance indésirables, ainsi que de contamination microbiologiques, incluant les bactéries pathogènes et les virus. Par ailleurs, ses caractéristiques physicochimiques (pH, température, concentration en éléments minéraux, etc...), organoleptiques (gout, odeur, aspect) et microbiologiques doivent être respectés, en fonction des normes de qualité en vigueur, définies par les réglementations nationales et internationales (**Beaulieu, 2019**).

2.1.2 Eau minérale naturelle EMN

Les eaux minérales naturelles sont d'origine, exclusivement, souterraine, la législation algérienne en donne la définition suivante :

{L'eau minérales naturelles est une eau microbiologiquement saine, provenant d'une nappe ou d'un gisement souterrain, exploitée à partir d'une ou plusieurs émergences naturelle ou forées, à proximité desquelles, elle doit être conditionnée} (JORA, 2004).

L'eau possède des propriétés physico-chimiques remarquables liées notamment à sa structure moléculaire. La molécule d'eau adopte une configuration tétraédrique dont un sommet reste libre, occupé par un doublet électronique non liant. La polarité des liaisons entre les atomes favorise la formation de liaisons réversibles, responsables en grande partie des propriétés particulières de cette substance(**C.I. Eau, 2004**).

Selon l'Organisation mondiale de la Santé(**OMS**), l'eau minérale naturelle est définie par les normes du Codex Alimentaires comme une eau provenant d'une nappe souterraine protégée de toute source de contamination. Elle se distingue par sa richesse en sels minéraux, la proportion relative de ces éléments, ainsi que par la présence d'oligo-éléments et d'autres constituants. Sa composition demeure stable et constante, tant au niveau de son débit que de

sa température. Par ailleurs, ce type d'eau ne subit aucun traitement, à l'exception de l'élimination des éléments instables(**Rambaud, 1992**).

L'eau minérale naturelle se distingue de l'eau destinée à la consommation courante par un ensemble de caractéristiques spécifiques. Elle se définit principalement par sa composition chimique particulière, notamment sa richesse en sels minéraux, les proportions relatives de ces éléments ainsi que la présence d'oligo-éléments et d'autres constituants dissous.

Cette eau provient exclusivement de nappes souterraines, issues soit d'émergences naturelles, soit de captages réalisés par forage. Dans tous les cas, des mesures strictes doivent être mises en œuvre afin de prévenir toute forme de pollution ou d'altération de ses propriétés physico-chimiques d'origine.

Par ailleurs, l'eau minérale naturelle se caractérise par une stabilité relative de sa composition, ainsi que de son débit et de sa température, en tenant compte des variations naturelles de faible amplitude. Elle doit être captée dans des conditions garantissant à la fois sa pureté microbiologique et l'intégrité de sa composition chimique.

En outre, son conditionnement est réalisé à proximité immédiate de la source, dans des conditions d'hygiène rigoureuses. Elle ne peut subir aucun traitement autre que ceux expressément autorisés par la réglementation en vigueur.

Selon **Constant et Hawili (2011)**, l'évaluation des caractéristiques des eaux minérales naturelles repose sur des analyses multidisciplinaires couvrant les aspects géologiques, hydrogéologiques, physiques, chimiques et microbiologiques. Selon les besoins, des études complémentaires d'ordre pharmacologique, physiologique et clinique peuvent également être requises, conformément aux dispositions du code de la santé publique.

2.1.3 Eau de source

Pour les eaux de source, la législation algérienne donne la définition suivante :

{L'eau de source est d'origine, exclusivement, souterraine, microbiologiquement saine et protégée contre les risques de pollution} (**JORA, 2004**).

L'eau de source est une eau d'origine souterraine naturellement protégée et généralement saine sur le plan microbiologique. Dans son état naturel, elle doit répondre aux

critères de qualité microbiologique applicables aux eaux minérales naturelles ainsi qu'aux exigences physico-chimiques relatives aux eaux destinées à la consommation humaine.

L'exploitation de l'eau de source se fait à partir d'émergences naturelles ou de captages forés, et son embouteillage doit obligatoirement être réalisé directement à la source. Elle constitue donc une catégorie d'eau embouteillée caractérisée par une origine souterraine, une protection contre la pollution et l'absence de traitement ou d'ajout chimique. Toutefois, les réglementations encadrant ces caractéristiques peuvent varier selon les pays. L'eau de source peut être consommée directement à l'état naturel, à condition de faire l'objet d'analyses régulières afin de vérifier sa qualité. Il convient également de ne pas confondre l'eau de source avec l'eau minérale naturelle, car ces deux catégories sont soumises à des critères distincts **(OMS, 1998)**.

La principale caractéristique de l'eau de source réside dans la variabilité de sa composition minérale. En effet, contrairement à certaines autres catégories d'eaux, sa teneur en minéraux n'est pas constante et peut fluctuer d'un prélèvement à un autre, voire d'une bouteille à l'autre. Cette variabilité peut entraîner de légères modifications des propriétés organoleptiques, notamment du goût, lesquelles sont étroitement liées aux caractéristiques géologiques et à la nature du sol traversé par l'eau.

3. Qualité de l'eau de consommation

Une eau destinée à la consommation humaine doit répondre à plusieurs critères de qualité d'ordre physique, chimique et microbiologique. Elle doit également satisfaire certaines exigences sensorielles appréciées par le consommateur, telles qu'une absence de couleur, d'odeur et de goût. Cependant, la notion de potabilité ne peut pas être définie de manière absolue, car elle dépend de normes et de seuils établis pour garantir la sécurité sanitaire et l'acceptabilité de l'eau par les consommateurs **(Anonyme 1, 2001)**.

3.1 Qualité organoleptique

Les paramètres organoleptiques correspondent aux caractéristiques perceptibles par les sens humains, notamment l'odeur, le goût et la couleur de l'eau. Ces paramètres jouent un rôle important dans l'appréciation de la qualité de l'eau destinée à la consommation, car toute modification de ces propriétés peut être perçue par l'utilisateur et indiquer une altération de la qualité de l'eau **(Weiner et Matthews, 2003)**.

3.1.1 Couleur

La couleur de l'eau peut être classée en deux catégories : la couleur réelle et la couleur apparente. La couleur réelle résulte uniquement de la présence de substances dissoutes dans l'eau, tandis que la couleur apparente est influencée à la fois par les substances dissoutes et par les particules en suspension qui peuvent accentuer la coloration. Dans les eaux limpides ou présentant une faible turbidité, la différence entre ces deux types de coloration reste généralement peu significative(**Rodier et al. 2009**).

La coloration de l'eau peut avoir différentes origines. Elle peut être d'origine naturelle, liée à la présence de certains éléments minéraux tels que le fer et le manganèse dans les eaux souterraines, ou encore à des substances organiques naturelles comme les composés humiques présents dans les eaux de surface. Elle peut également résulter de phénomènes environnementaux, notamment l'eutrophisation des milieux aquatiques, caractérisée par une prolifération excessive d'algues et de plancton dans les lacs, étangs ou barrages. Enfin, certaines activités industrielles, comme celles liées aux tanneries ou à l'industrie textile, peuvent introduire des colorants chimiques dans l'eau et modifier sa coloration(**Mokddem etOuddane, 2005**).

3.1.2 Odeur

Une eau destinée à la consommation doit normalement être dépourvue d'odeur. La présence d'une odeur inhabituelle peut indiquer une contamination ou la présence de matières organiques en cours de décomposition. L'odeur correspond à l'ensemble des sensations perçues par l'organe olfactif lors de l'inhalation de substances volatiles présentes dans l'eau(**Rodier et al. 2009**).

3.1.3 Goût et saveur

Legoût de l'eau correspond à l'ensemble des sensations perçues lors de la dégustation d'une boisson dans la cavité buccale. Ces sensations résultent de l'interaction entre les perceptions gustatives, olfactives et la sensibilité chimique commune. La saveur, quant à elle, désigne les sensations provoquées par la stimulation des bourgeons gustatifs par certaines substances solubles présentes dans l'eau (**Rodier et al. 2009**). Une eau destinée à la consommation humaine doit présenter une saveur légère et agréable afin d'être acceptée par le consommateur (**Ramade, 1998**). La présence de certains éléments chimiques peut toutefois modifier le goût

de l'eau. Ainsi, une concentration élevée en chlorures peut donner une saveur saumâtre, tandis qu'une forte teneur en magnésium peut provoquer un goût amer. La présence de fer peut également conférer un goût métallique à l'eau. À l'inverse, une eau dépourvue de sels minéraux usuels et de dioxyde de carbone peut paraître fade **(Rodier, 2005)**.

3.1.4 Turbidité

La turbidité correspond au degré d'opacité d'une eau et traduit la diminution de sa transparence due à la présence de particules non dissoutes. Ces particules peuvent être d'origine minérale ou organique, telles que les argiles, les limons, les grains de silice, les matières colloïdales ou encore certains débris organiques. L'évaluation de la quantité de ces substances permet d'estimer le niveau de turbidité de l'eau. En général, plus le traitement de l'eau est efficace, plus la turbidité n'est faible. Ainsi, la mesure de ce paramètre constitue un indicateur important pour contrôler l'efficacité des procédés de traitement des eaux brutes. La turbidité est généralement exprimée en NTU (Nephelometric Turbidity Unit), unité néphélométrique de turbidité **(Rejsek, 2002 ; Graindorge, 2015)**.

La turbidité est donc étroitement liée à la transparence de l'eau et reflète la présence de matières en suspension. Les eaux troubles contiennent souvent des particules fines susceptibles de s'accumuler dans les canalisations et les réservoirs. Pour garantir la sécurité sanitaire du consommateur, la turbidité de l'eau destinée à la consommation humaine doit rester inférieure à 5 NTU **(Rodier, 1984 ; Rejsek, 2002 ; Rodier et al. 2009)**. Une turbidité élevée peut être associée à une pollution de l'eau, bien qu'elle puisse également avoir une origine naturelle, comme le développement du plancton, la présence de sable ou de particules argileuses en suspension. Ces particules peuvent constituer un support favorable à la fixation et à la prolifération de bactéries **(Anonyme 2, 2005)**.

3.2 Qualité physico-chimique

3.2.1 Paramètres physiques

Les paramètres physiques de l'eau sont étroitement liés à ses caractéristiques naturelles et aux interactions avec les formations géologiques traversées. Lors de leur circulation dans le sol, les eaux peuvent se charger en divers éléments minéraux, ce qui influence notamment leur température et conductivité et leur pH.

3.2.1.1 La température

La température constitue un paramètre important dans l'évaluation de la qualité de l'eau, car elle agit directement sur ses propriétés chimiques et biologiques. Une eau froide ($\leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) favorise une meilleure dissolution de l'oxygène, tandis qu'une élévation de la température peut modifier l'équilibre chimique de l'eau. En effet, une eau plus chaude peut favoriser l'acidification, entraîner la précipitation de certains minéraux comme le calcaire et stimuler le développement de micro-organismes. Certaines bactéries pathogènes, telles qu'*Escherichia coli* et *Légionellose*, se développent particulièrement dans des plages de température comprises entre 25 et 45 $^{\circ}\text{C}$. Par ailleurs, l'augmentation de la température peut diminuer l'efficacité des procédés de désinfection, notamment ceux utilisant le chlore (**Rodier, 1997 ; Hamed et al. 2012**).

Par rapport avec les normes de potabilités de l'eau fixées au journal officiel de la république algérienne (JORA) l'eau est : excellente lorsque la température varie entre 20 et 22 $^{\circ}\text{C}$, passable lorsque la température oscille dans l'intervalle de 22 25 $^{\circ}\text{C}$ (**JORA, 2014**).

3.2.1.2 Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est un indicateur de l'activité des ions hydrogène (H^+) présents dans l'eau et reflète en grande partie l'influence des caractéristiques géologiques du milieu traversé par l'eau. Des valeurs de pH trop faibles ($< 6,5$) peuvent rendre l'eau corrosive et altérer ses propriétés organoleptiques, notamment son goût. À l'inverse, un pH trop élevé ($> 8,5$) peut réduire l'efficacité des traitements de désinfection au chlore et favoriser la formation de dépôts calcaires dans les réseaux de distribution (**Drever, 1997 ; OMS, 2017**).

Tableau 1 : Classification des eaux après leur pH
(Redouane et al, 2009)

pH	Type d'eaux
pH < 5	Acidité forte (Présence des acides minéraux ou organiques dans l'eau naturelle)
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée (majorité des eaux de surface)
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

3.2.1.3 Conductivité

La conductivité de l'eau correspond à son aptitude à transmettre le courant électrique entre deux électrodes. Elle constitue un indicateur global de la teneur en ions dissous et permet ainsi d'évaluer le degré de minéralisation de l'eau (Guentri et al, 2015). Elle est exprimée en micro Siemens par centimètre (S/cm) (AFNOR, 2001). La conductivité dépend des charges en matières organiques endogènes et exogènes, génératrices de sels après décomposition et minéralisation et également avec le phénomène d'évaporation qui concentre ces sels dans l'eau, elle varie aussi suivant le substrat géologique traversé (Belghiti et al, 2013).

Tableau 2: Classification des eaux selon la conductivité
(Sari, 2014)

Type d'eaux	Conductivité (us/cm)
Pure	< 23
Douce et peu minéralisée	100 à 200
Eau de minéralisation moyenne	250 à 500
Minéralisation importante	500 à 1000
Très minéralisée	1000 à 2500

3.2.1.4 Dureté

La dureté de l'eau est une caractéristique naturelle liée principalement au lessivage des roches traversées par l'eau. Elle correspond essentiellement à la concentration en ions calcium (Ca^{2+}) et magnésium (Mg^{2+}), qui sont des éléments alcalino-terreux. Une eau est qualifiée de dure lorsqu'elle contient des concentrations élevées de ces ions, tandis qu'elle est dite douce lorsque leur teneur est faible.

Les eaux circulant dans des terrains calcaires ou gypseux présentent généralement des duretés importantes pouvant atteindre environ 1 g/L exprimé en CaCO_3 . La présence des sels de calcium est très fréquente dans les eaux naturelles, et leur concentration dépend principalement de la nature géologique des formations traversées par l'eau.

Dans les eaux naturelles, plusieurs types de dureté peuvent être distingués :

La dureté magnésienne (titre magnésien, TMg) : correspondant à la concentration en ions magnésium (Mg^{2+}).

La dureté calcique (titre calcique, TCa) : liée à la teneur en ions calcium (Ca^{2+}).

La dureté permanente : résultant de l'association des ions calcium et magnésium avec des anions tels que les chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}) ou nitrates (NO_3^-).

La dureté temporaire : due à la combinaison des ions calcium et magnésium avec les ions bicarbonates (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-) (Claude & Gilles, 2013).

La dureté totale est parfois appelée dureté calcique et magnésienne ou encore consommation de savon. Elle est généralement exprimée en milléquivalents de CaCO_3 par litre ou en degrés français (°f) (Rodier et al. 2009).

Tableau 3 : Classification des eaux selon la dureté totale
(Berne et al. 1991)

TH en degrés français	Spécificité de l'eau
0 à 6	Eau très douce
6 à 15	Eau douce
15 à 30	Eau moyennement dure
30 à plus	Eau très dure

3.3 Paramètre chimique

3.3.1.1 Calcium (Ca^{2+})

Le calcium constitue un élément minéral essentiel pour l'organisme humain. Environ 99 % du calcium corporel est localisé dans les os et les dents, où il joue un rôle fondamental dans la solidité et la structure du squelette. La concentration de calcium dans le sang représente un indicateur important de la santé osseuse.

Le 1 % restant intervient dans plusieurs fonctions physiologiques essentielles, notamment dans le fonctionnement des cellules nerveuses et musculaires, y compris l'activité cardiaque et vasculaire. Le calcium participe également à la régulation de l'équilibre acido-basique ainsi qu'au processus de coagulation sanguine. Un excès de calcium peut entraîner son dépôt dans différents organes, en particulier dans les vaisseaux sanguins, ce qui peut provoquer leur obstruction. L'hypercalcémie favorise également la formation de calculs rénaux et peut entraîner des complications graves telles que troubles neurologiques, fatigue intense, voire arrêt cardiaque dans les cas extrêmes(Avensac, M. 2018).

3.3.1.2 Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est un élément essentiel au métabolisme de l'organisme humain. Il intervient dans plus de 300 réactions enzymatiques, notamment celles impliquant l'adénosine-triphosphate (ATP), principale source d'énergie cellulaire.

Le corps humain contient environ 25 g de magnésium, dont près de 67 % sont stockés dans le tissu osseux, tandis que le reste est réparti dans les tissus mous et les liquides intracellulaires. Une très faible proportion se trouve dans les liquides extracellulaires.

Ce minéral joue un rôle déterminant dans le fonctionnement des systèmes métabolique, musculaire et nerveux. Dans l'eau potable, le magnésium constitue également l'un des principaux facteurs responsables de la dureté de l'eau. Certaines études ont montré qu'une consommation d'eau contenant des concentrations adéquates de magnésium pourrait être associée à une réduction du risque de maladies cardiovasculaires (WHO, 2017).

3.3.1.3 Sodium (Na^+)

Le sodium est un élément essentiel au bon fonctionnement de l'organisme. Il intervient notamment dans la transmission de l'influx nerveux et dans la contraction

musculaire. Sa concentration dans le sang et dans le liquide interstitiel régule la répartition de l'eau dans les cellules ainsi que le volume sanguin. Les effets sont rares mais peuvent apparaître en cas de gastro-entérite par exemple, due à la déshydratation provoquée par le vomissement excessif, les diarrhées ou la sudation. Un manque de sodium provoque des nausées, des crampes musculaires ainsi qu'une déshydratation à long terme avoir peu de sodium dans le sang conduit à de hypotension. La diminution de la natrémie (taux de sodium dans le plasma) à une valeur inférieure à 135 mol/l (hyponatrémie) peut provoquer des troubles digestifs (dégout de l'eau puis nausée et vomissements) ou surtout neurologiques, quand il est consommé en trop grande quantité le sodium a des répercussions importantes sur le système cardiovasculaires. En cas hypertension mieux vaut consommer des eaux pauvres en sodium (**Fur, M. 2004**).

3.3.1.4 Potassium (K^+)

Le potassium joue un rôle fondamental dans de nombreuses fonctions cellulaires. Il intervient notamment dans le métabolisme cellulaire, la croissance, la réparation des tissus et la régulation du volume cellulaire, tout en contribuant au maintien des propriétés électriques des cellules. Par ailleurs, le potassium participe au maintien de l'équilibre osmotique des liquides corporels et à la régulation de l'équilibre acido-basique, notamment par son action sur la capacité des reins à réabsorber le bicarbonate. Il constitue également un élément important dans le tamponnement des acides métaboliques.

Chez les adultes âgés de 19 à 70 ans, l'apport quotidien suffisant en potassium est estimé à 4,7 g/jour (**Thomas, F. b. 2014**). Toutefois, chez les personnes présentant une insuffisance rénale, un apport inférieur à cette valeur est généralement recommandé. Chez les individus en bonne santé, il est peu probable que la consommation de potassium par l'eau potable entraîne des effets nocifs. L'intoxication par ingestion de potassium demeure rare, car cet élément est rapidement éliminé par les reins lorsque leur fonctionnement est normal.

Cependant, l'ingestion de doses élevées peut provoquer des vomissements. Chez les personnes dont la fonction rénale est altérée, une ingestion excessive peut dépasser les mécanismes homéostatiques et entraîner des complications graves, voire mortelles.

Des effets indésirables peuvent également apparaître lorsque la concentration de potassium dans le plasma dépasse les valeurs normales (hyperkaliémie). Ce risque concerne

particulièrement certains groupes de population consommant de l'eau potable provenant d'adoucisseurs utilisant du chlorure de potassium(Santé Canada. 2008).

3.3.1.5 Chlorures (Cl^-)

L'ion chlorure constitue le principal anion extracellulaire de l'organisme. Il s'agit d'un ion très mobile capable de traverser facilement les membranes cellulaires. Il joue un rôle important dans le maintien de la pression osmotique, de l'équilibre hydrique et de l'équilibre acido-basique de l'organisme. Pendant longtemps, le rôle physiologique du chlorure a été considéré comme celui d'un simple contre-ion passif. Toutefois, des études récentes suggèrent qu'il pourrait également exercer un rôle plus actif et indépendant dans certaines fonctions biologiques, notamment dans la fonction rénale, la neurophysiologie et les processus nutritionnels. L'absorption du chlorure d'origine alimentaire est presque complète. Il est principalement absorbé dans le jéjunum par entraînement par solvant, puis dans l'iléon et le côlon par transport actif couplé à la sécrétion de bicarbonate. Ces mécanismes sont associés à des systèmes de Co-transport dépendants du sodium, qui permettent de maintenir les gradients osmotiques et électrochimiques nécessaires. Certaines études suggèrent que le chlorure pourrait jouer un rôle dans le développement de l'hypertension artérielle sensible au sodium. Les données indiquent que la présence simultanée de sodium et de chlorure est nécessaire pour produire un effet hypertension.

3.3.1.6 Sulfates (SO_4^{2-})

Les sulfates constituent une source importante de soufre, élément indispensable à la structure de nombreuses protéines présentes dans l'organisme, notamment celles de la peau, des ongles et des cheveux, ainsi que certaines hormones telles que l'insuline. Le soufre joue un rôle essentiel dans la conformation et le bon fonctionnement de ces molécules biologiques.

Par ailleurs, il entre dans la composition de plusieurs vitamines, ainsi que dans celle de tissus conjonctifs tels que le cartilage, les tendons et les os. Les sulfates peuvent également influencer le fonctionnement du système digestif en favorisant le transit intestinal.

L'organisme humain contient en moyenne entre 350 et 480 mg de soufre. Les besoins journaliers en acides aminés soufrés sont estimés entre 13 et 14 mg/kg de poids corporel. Une alimentation équilibrée et riche en protéines couvre généralement ces besoins physiologiques(Sekiou, F et al 2014).

Les sulfates présentent une faible toxicité. Toutefois, lorsque leur concentration dans l'eau dépasse 300 mg/L, ils peuvent exercer un effet laxatif et diurétique. Ainsi, les eaux fortement sulfatées doivent être consommées avec prudence, notamment par les nourrissons et les personnes sensibles. Leur présence peut également conférer à l'eau une saveur particulière (Hubert, J et al 2002).

Toutefois, chez les personnes souffrant d'hypertension, une consommation excessive de chlorure associée au sodium peut contribuer à l'augmentation de la pression artérielle.

Enfin, l'accumulation progressive de ces sédiments dans les canalisations peut entraîner une réduction du diamètre utile des conduites, provoquant ainsi une diminution des débits et une altération du fonctionnement du réseau de distribution.

3.3.1.7 Nitrites (NO_2^-)

Les nitrites apparaissent soit par oxydation incomplète de l'ammoniac, soit par réduction des nitrates dans des conditions dénitrifiâtes, ou encore par oxydation partielle des matières organiques. Bien que présents en faibles concentrations dans le sol, l'eau et les plantes, leur détection dans les eaux indique une possible détérioration microbiologique et un risque de pollution. Les nitrites peuvent provoquer des effets sanitaires sévères, tels que la méthémoglobinémie chez les nourrissons, même à faibles concentrations (Savary, 2010 ; Samake, 2002).

Les nitrites présents dans l'eau potable peuvent être responsables de la méthémoglobinémie du nourrisson, également appelée cyanose du nourrisson. Cette pathologie se caractérise par l'incapacité de la méthémoglobine à transporter efficacement l'oxygène dans le sang, ce qui entraîne une hypoxie tissulaire. Le processus toxique conduit d'abord à une diminution du transport de l'oxygène dans le sang (anoxémie), puis à une réduction de l'apport en oxygène aux tissus (anoxie tissulaire), pouvant provoquer un dysfonctionnement des organes et l'apparition de manifestations cliniques.

Dans la population générale, les nitrates ne sont pas directement considérés comme cancérogènes. En revanche, les nitrites, en raison de leur instabilité et de leur réactivité chimique, peuvent être associés à la formation de composés potentiellement cancérigènes, impliqués notamment dans certains cancers digestifs, tels que les cancers de l'estomac et de l'œsophage.

3.3.1.8 Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates, en tant que tels, ne présentent généralement pas de toxicité directe pour la santé humaine. Toutefois, leur transformation en nitrites au sein de l'organisme constitue un risque sanitaire potentiel. Les nitrites peuvent résulter soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniac, soit d'une réduction des nitrates sous l'action de bactéries dé nitrifiantes, notamment au niveau du tractus gastro-intestinal (**Rejsek, 2001**). Une fois formés, les nitrites oxydent l'hémoglobine en méthémoglobine, une forme incapable d'assurer le transport efficace de l'oxygène des poumons vers les tissus, pouvant ainsi entraîner des troubles d'oxygénation. Par ailleurs, les nitrites sont susceptibles de participer à la formation de composés N-nitrosés, notamment les nitrosamines, au niveau du tube digestif. Ces composés sont reconnus pour leur potentiel cancérigène probable (**Potelon et Zysman, 1998**).

3.3.1.9 Alcalinité (TA, TAC)

Les eaux minérales naturelles présentent généralement un pH supérieur à 4,5, traduisant un caractère alcalin. Par convention, alcalinité totale d'une eau définie comme la quantité d'acide nécessaire pour abaisser son pH jusqu'à cette valeur. Dans les eaux minérales naturelles, l'alcalinité résulte généralement de la présence hydrogénocarbonate (HCO_3^-), carbonates (CO_3^{2-}) et hydroxydes (OH^-). Elle peut ainsi être caractéristique par deux paramètres distincts correspondant à deux seuils de pH :

- Le titrealcalimétrique (TA) est une mesure des bases forte (carbonates et alcalis), il est déterminé par titrage en présence de phénol phtaléine comme indicateur coloré. Cette alcalinité est considérée comme nulle pour des eaux dont le pH est compris entre 4,5 et 8,5.
- Le titre alcalimétrique complet (TAC) est une mesure des bases forte et des doses faibles (bicarbonates), il déterminé par titrage en présence de hélianthine jusqu'à pH de 4,5, permettant ainsi de quantifier les ions HCO_3^- , CO_3^{2-} et OH^- . Dans les eaux minérales naturelles, l'alcalinité exprimée en mg/l de HCO_3^- , varie généralement entre 10 et 350 mg/l (**Legube et al, 2009**).

Une alcalinité modérée présente un intérêt pour la santé humaine, dans la mesure où elle participe au maintien de l'équilibre acido-basique de l'eau, pouvant ainsi favoriser la digestion et atténuer l'acidité gastrique. Cependant, des niveaux d'alcalinité trop élevés

peuvent altérer les qualités organoleptiques de l'eau, notamment en lui conférant un gout désagréable, et diminuer l'efficacité des procédés de désinfectants (OMS, 2017).

3.3.1.10 Carbonates (CO_3^{2-})

Les carbonates sont des ions dérivés de l'acide carbonique, naturellement présents dans l'eau et les minéraux et jouent un rôle dans la régulation du potentiel hydrogéné (pH) et de l'alcalinité de l'eau, bien qu'il n'existe pas de la norme spécifique pour les carbonates dans l'eau de consommation, leur concentration est souvent évaluée indirectement via l'alcalinité, avec plage recommandée de 30 à 500 mg/l de carbonate de calcium (CaCO_3), pour assurer la stabilité chimique de l'eau et prévenir la corrosion des canalisations. Du point de vue sanitaire, Les carbonates participent à la neutralisation de l'acidité au sein de l'organisme, contribuant ainsi l'équilibre acido-basique et pouvant favoriser la digestion. Toutefois, à des concentrations élevées, ils peuvent altérer les caractéristiques organoleptiques de l'eau, notamment son gout et réduire l'efficacité des procédés de désinfection (OMS, 2017).

3.3.1.11 Bicarbonates (HCO_2^-)

Les bicarbonates jouent un rôle important dans la régulation de l'équilibre acido-basique de l'organisme. Ils contribuent à réduire l'acidité corporelle et peuvent favoriser la récupération après un effort physique ou en cas de troubles digestifs. Ils interviennent également dans la neutralisation de l'acidité gastrique et participent au maintien d'un pH sanguin stable. Chez les sportifs, les bicarbonates peuvent aider à limiter l'acidification de l'organisme liée à la production d'acide lactique lors d'efforts intenses (Sekiou, F et al 2014).

3.3.1.12 Résidu sec

La détermination du résidu sec constitue un indicateur essentiel du degré de minéralisation de l'eau. Elle permet d'estimer la teneur globale en matières dissoutes ainsi qu'en particules en suspension. Par ailleurs, l'analyse du résidu sec après filtration de l'échantillon permet de distinguer la fraction dissoute, tandis que le résidu total correspond à l'ensemble des substances présentes dans l'eau, qu'elles soient dissoutes ou en suspension.

Une eau fortement minéralisée peut contribuer au maintien de l'équilibre de certaines constantes physiologiques chez l'homme, notamment chez l'enfant. Toutefois, une minéralisation excessive est susceptible d'entraîner des effets indésirables, notamment des perturbations d'ordre endocrinien (Chouafa, N et al 2022).

Tableau 4: Classification des eaux minérales selon leur minéralisation
(Dehove, 1990)

Type d'eau	La teneur en sels minéraux comme résidu fixé (mg/l) à(180 °C)
Très faiblement minéralisée	< 50
Oligominérale ou faiblement minéralisée	< 500
Riche en sel minéraux	>1500

3.3.1.13 Substances toxiques

3.3.1.13.1 Plomb(Pb)

Le plomb est un élément naturellement présent dans la croûte terrestre, mais sa concentration dans les eaux naturelles demeure généralement très faible. Sa présence dans l'eau potable est principalement attribuée à la corrosion des matériaux constituant les réseaux de distribution, notamment les canalisations anciennes. Ce métal lourd est reconnu pour sa toxicité élevée et son caractère cumulatif dans l'organisme. Une exposition prolongée peut entraîner divers effets néfastes sur la santé, notamment des atteintes du système nerveux central ainsi qu'une élévation de la pression artérielle (**Rodier, 2005**).

3.3.1.13.2 Chrome(Cr)

Le chrome est un élément naturellement présent en faibles concentrations dans la majorité des roches et des sols. Sa présence dans les eaux naturelles, sous forme de sels solubles, de particules insolubles ou de complexes chimiques, demeure relativement rare. Lorsqu'elle est observée, elle est généralement associée à des sources de contamination d'origine anthropique, notamment les rejets d'eaux usées ou les infiltrations provenant des zones d'épandage des boues issues des stations d'épuration.

Le chrome existe principalement sous deux états d'oxydation dans l'environnement : le chrome trivalent (Cr^{3+}) et le chrome hexa valent (Cr^{6+}). Le chrome trivalent est reconnu comme un oligo-élément essentiel au métabolisme humain. Il intervient notamment dans la régulation du métabolisme des glucides, des lipides et des protéines, et contribuerait à l'amélioration de la croissance. De plus, son absorption présente un faible impact sur le

système digestif. En revanche, le chrome hexa valent se distingue par sa forte solubilité dans l'eau et sa toxicité élevée. Même à faible concentration, il peut provoquer des irritations de la muqueuse gastro-intestinale. À des doses plus importantes, il est susceptible d'entraîner des effets toxiques sévères, tels qu'une nécrose hépatique et des atteintes rénales, notamment une néphrite (Savary, 2010).

3.3.1.13.3 Arsenic (As)

L'arsenic est naturellement présent dans la croûte terrestre et est largement distribué dans divers environnements en particulier, les eaux souterraines. Il est très toxique sous forme inorganique, sa présence dans les eaux potables et celles d'hygiène domestique, notamment l'irrigation, constitue la plus grande menace pour la santé publique. Lors d'une exposition prolongée, il peut provoquer des cancers, des lésions cutanées et des maladies cardiovasculaires (OMS, 2017).

3.3.1.13.4 Mercure

Parmi les métaux lourds, le mercure présente l'un des risques les plus importants de pollutions de l'environnement. Le mercure est surtout produit par les sources artificielles comme l'industrie chimique de chlore et de la soude, la fabrication d'appareillages électriques (comme piles...). La toxicité des sels de mercure varie en fonction de leurs caractéristiques chimiques et organiques et de leur absorption par le tractus gastro-intestinal, ces intoxications se traduisent par une stomatite, des troubles neurologiques et un syndrome néphrotique. Il est plus toxique lorsqu'il est transformé en méthyl mercure qui provoque de graves lésions du système nerveux central, avec des troubles de la parole et peut entraîner la mort (Bouziati, 2000). Pratiquement, le mercure peut se trouver dans l'eau, fixé sur les matières en suspension et/ou à l'état dissous, sous forme de composés organiques et/ou à l'état minéral (Rodier et al, 2009).

3.3.1.13.5 Cyanures (CN)

Les cyanures sont présents dans les eaux sous différentes formes d'acide cyanhydrique ou prussique, on peut les trouver sous forme d'ions cyanure, et de cyanure complexé (complexes de cyanure). L'intoxication aiguë avec des quantités importantes de cyanures (100 mg en CN) a un caractère foudroyant (vertiges, pertes de connaissance, convulsions, cyanose, arrêt respiratoire). L'intoxication chronique se caractérise par l'asthénie, une perte de poids,

des troubles digestifs, nerveux et cardiaques. Les cyanures retrouvés dans les eaux proviennent généralement des eaux résiduaires industrielles **(Rodier et al, 2009)**.

3.3.1.13.6 Sélénium (Se)

L'état du sélénium retrouvé dans les masses d'eaux est mal connu, il est déterminé à partir de son origine qui est peut être lié aux exsudations naturelles des sols ou aux rejets industriels (sélénates, sélénites, sélénures...etc.). Il est très toxique pour l'homme et cause beaucoup de maladies **(Rodier et al, 2009)**.

3.3.1.13.7 Cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal blanc argenté, malléable et ductile, relativement rare dans l'environnement naturel, où il est fréquemment associé aux minerais de zinc. Les principales sources de contamination en cadmium proviennent des activités anthropiques, notamment les rejets industriels et les déchets domestiques. Cet élément présente une grande mobilité dans les milieux aquatiques et les sols, facilitant ainsi sa dispersion dans l'environnement **(Bontoux, 1993)**.

Sur le plan toxicologique, le cadmium est particulièrement nocif pour l'organisme humain, avec une prédominance d'effets délétères au niveau rénal, pouvant conduire à des dysfonctionnements sévères des reins.

3.3 Qualité microbiologique

3.3.1 Les germes aérobies revivifiables

Les germes mésophiles, nommés aussi germes aérobies revivifiables, sont représentés par les bactéries aérobies, levures ou moisissures, capable de former des colonies dans le milieu de culture gélosé, on distingue deux catégories :

- Les micro-organismes se développant à 22 °C qui sont des saprophytes, présents naturellement dans l'eau.
- Les micro-organismes se développant à 37 °C qui proviennent de l'homme ou des animaux à sang chaud, il ne s'agit pas forcément de germes pathogènes, mais leur présence indique une contamination fécale de l'eau **(SI AbderRahmane, 2006)**.

Ces micro-organismes ne présentent pas d'effets directs sur la santé, mais une concentration trop importante peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique. Une faible présence est

le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution (**Duguet et al, 2006**). Leurs nombre (cellules vivantes) sont exprimés en unité formant colonie/ml d'eau (**Oudahmaneet al, 2003**).

Le principal intérêt de dénombrement de ces micro-organismes réside dans la possibilité de détecter les variations par rapport au nombre attendus grâce à une surveillance fréquente et à long terme. Toute augmentation soudaine de ces germes peut prévenir d'une pollution sérieuse et appeler à des investigations immédiates (**Rejsek, 2002**).

3.3.2 Coliformes

Le terme coliforme correspond à des organismes en bâtonnets, non sporogènes, à gram négatif, oxydase négatif, facultativement anaérobies, capables de croître en présence de sels biliaires ou d'autre agents de surface possédant des activités inhibitrices de croissance et capables de fermenter le lactose (et le mannitol), avec production d'acide et d'aldéhyde en 48 heures à des températures de 35 à 37 °C(**ISO, Rodier et al, 2009**).

Le terme de coliforme thermo-tolérants, se rapporte aux coliformes présentant les mêmes propriétés à 44 °C, celui d'*Escherichia coli* présumé concerne les coliformes thermo-tolérants qui produisent de l'indole à 44 °C à partir du tryptophane (**Haslay et al, 1993**).

Les coliformes perdent leur viabilité dans l'eau plus lentement que la majorité des bactéries pathogènes intestinales et constituent donc un indicateur de contamination fécale de l'eau de première importance. De plus, leur résistance aux agents désinfectants, notamment au chlore est voisine de la résistance des bactéries pathogènes, ils vont donc constituer de bons indicateurs d'efficacité de traitement et présentent donc un intérêt pour l'estimation de la qualité de l'eau (**Rejsek, 2002**).

3.3.3 *Clostridium* sulfito-réducteurs

Les clostridies sulfito-réductrices sont souvent considérées comme des indicateurs d'une pollution fécale ancienne ou intermittente. Leur présence persistante dans l'eau peut révéler une défaillance du processus naturel de filtration au niveau des nappes ou du sol. Ces bactéries se présentent sous forme de bacilles à Gram positif, strictement anaérobies, pouvant être isolés ou disposés en chaînettes. Elles sont généralement mobiles, catalase positives et capables de réduire le sulfite de sodium en sulfure. De plus, la forme sporulée de ces micro-organismes possède une résistance élevée aux conditions environnementales défavorables, ce

qui explique leur persistance dans le milieu aquatique (**Armand, 1996 ; Bourgeois et al. 1991**).

3.3.4 Les entérocoques (groupe D)

Les entérocoques intestinaux sont des bactéries à Gram positif, de morphologie cocci ou ovoïde, généralement disposées en chaînettes. Ils sont catalase négative et anaérobies facultatifs, et possèdent l'antigène du groupe D. Comme leur appellation l'indique, ces microorganismes appartiennent à la flore commensale des organismes vivants et colonisent principalement le tractus digestif ainsi que le tractus génito-urinaire, notamment l'urètre. Chez l'homme et chez de nombreuses espèces animales, les entérocoques peuvent agir comme des agents pathogènes opportunistes. Leur détection repose notamment sur les méthodes normalisées telles que la norme européenne **EN ISO 7899-2 (2002)**.

4. Processus d'exploitation de l'eau en bouteille

4.1 En Algérie

- Captage des eaux minérales

Le captage des eaux minérales naturelles s'effectue par pompage direct à partir des sources ou des forages, à l'aide de pompes de haute performance. L'eau est acheminée à travers des conduites en acier inoxydable garantissant la préservation de sa pureté physico-chimique et de sa minéralisation naturelle, tout en évitant tout contact avec le milieu extérieur susceptible d'altérer sa qualité.

- Traitement appliqué

Après son extraction, l'eau subit un traitement exclusivement physique basé sur la filtration. Elle est d'abord dirigée vers des filtres à sable destinés à éliminer les particules en suspension. L'eau ainsi clarifiée est ensuite stockée dans des cuves en acier inoxydable, avant d'être acheminée vers les différentes lignes de conditionnement.

- Embouteillage de l'eau minérale

L'embouteillage de l'eau minérale naturelle repose sur l'utilisation de bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET), un matériau plastique largement utilisé en raison de sa légèreté, de sa résistance et de sa recyclable.

- ✓ Les étapes du processus d'embouteillage

- Soufflage des bouteilles

La formation des bouteilles s'effectue à partir de préformes en PET. Celles-ci sont chauffées par rayonnement infrarouge à des températures variables selon les zones de la future bouteille. Les préformes chauffées sont ensuite transférées vers des moules à l'aide de pinces.

Un pré-soufflage est réalisé par injection d'air stérile à basse pression (environ 7 bars), permettant une première expansion de la matière. Cette étape est suivie d'un soufflage final à haute pression (environ 40 bars), assurant la prise de forme définitive de la bouteille en épousant parfaitement les contours du moule.

- Remplissage et bouchonnage

Après le soufflage, les bouteilles sont acheminées sur un convoyeur et exposées à un rayonnement ultraviolet afin d'assurer leur stérilisation. Elles sont ensuite remplies automatiquement, puis transférées vers une bouchonneuse qui assure la pose et le vissage hermétique des bouchons en plastique.

- Étiquetage et marquage

Les bouteilles remplies transitent vers une zone tampon avant d'être dirigées vers une étiqueteuse. Cette dernière assure la découpe et l'application d'étiquettes pré-imprimées, à l'aide de systèmes de guidage et de fixation. Par ailleurs, les informations relatives à la date de fabrication et à la date de péremption sont marquées de manière indélébile sur les bouteilles.

- Fardelage (conditionnement en packs)

À la sortie de l'étiqueteuse, les bouteilles sont regroupées en unités de vente (packs) selon différents formats. Un système de convoyage aligne les bouteilles, puis un film plastique rétractable est appliqué et découpé. Les packs sont ensuite soumis à une source de chaleur dans un four électrique, provoquant la rétraction du film, suivie d'un refroidissement par ventilation afin de stabiliser la forme du conditionnement.

- Palettisation

Les packs ainsi formés sont acheminés vers un palettiseur automatique. Ce système organise les fardeaux selon un schéma prédéfini sur des palettes en plastique. Des intercalaires sont placés entre les couches pour assurer la stabilité de l'ensemble. Une fois la palette constituée, elle est filmée à l'aide d'un film étirable, puis transférée vers la zone de stockage à l'aide d'un chariot élévateur.

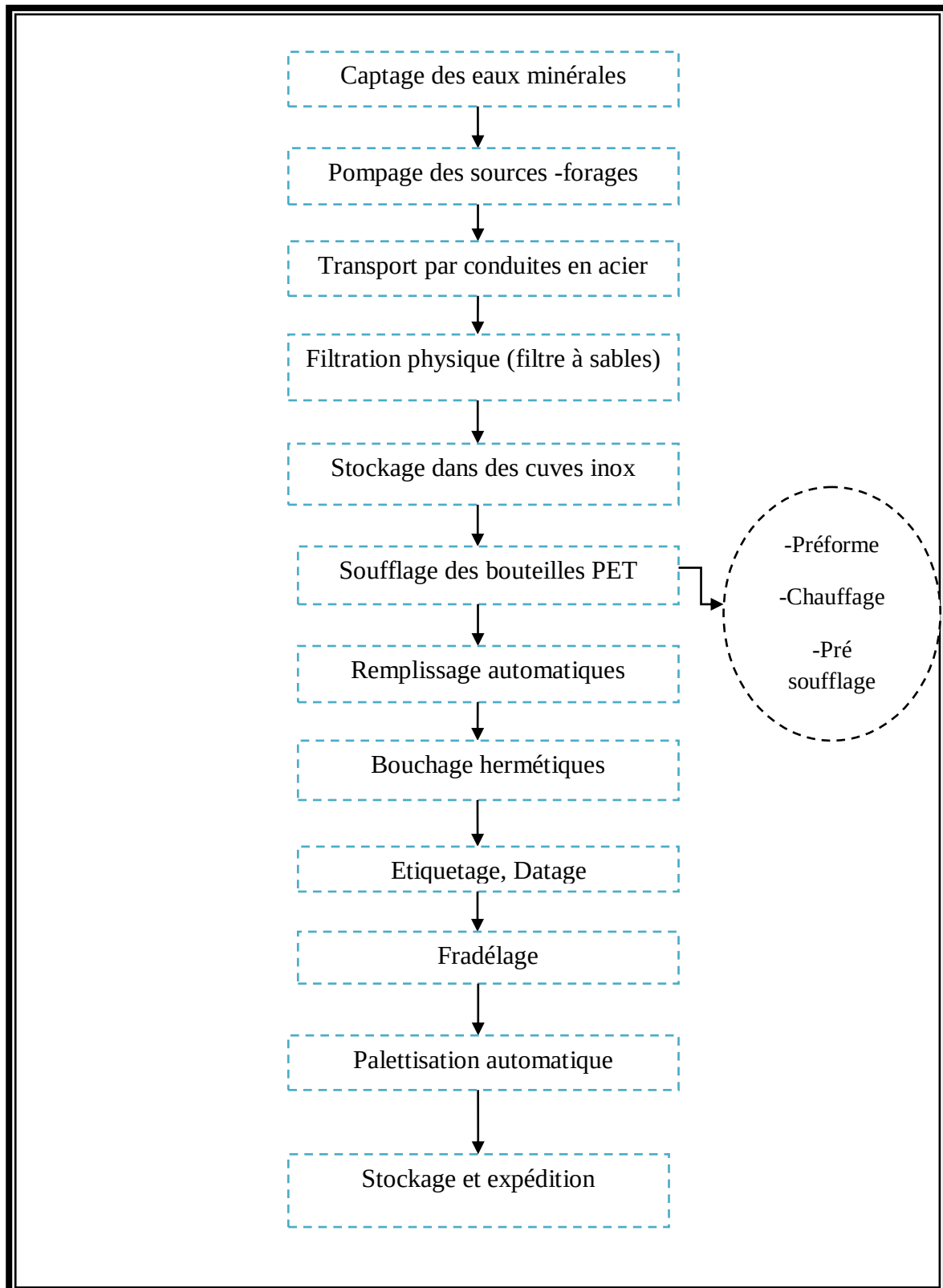


Figure 3 : Diagramme du processus d'exploitation de l'eau en bouteille en Algérie
(Flidjane, 2026)

5. Consommation d'eau dans le monde et en Algérie

5.1 Dans le monde

La consommation mondiale d'eau connaît une augmentation continue sous l'effet de la croissance démographique, de l'urbanisation et du développement des activités économiques. Elle est actuellement estimée à environ 4 milliards de m³, soit un débit moyen de l'ordre de 127 m³/s (équivalant à près de 1,3 million de litres par seconde), un niveau qui dépasse les capacités naturelles de renouvellement de certaines ressources hydriques. Selon les tendances actuelles, cette demande pourrait atteindre environ 4,7 milliards de m³ par an à l'horizon 2020, traduisant une pression croissante sur les réserves en eau à l'échelle mondiale(**Haddad, B. 2021**).

5.2 Dans Algérie

La ressource en eau en Algérie, à l'instar de nombreux pays du sud du bassin méditerranéen, constitue un facteur limitant majeur du développement socio-économique et une source potentielle de tensions sociales. Cette contrainte s'explique principalement par la rareté de la ressource hydrique, appréhendée à travers deux dimensions essentielles : le stress hydrique et l'irrégularité spatio-temporelle des disponibilités en eau. Ces phénomènes sont susceptibles de s'intensifier sous l'effet des changements climatiques.

Avec une disponibilité inférieure à 600 m³ par habitant et par an, l'Algérie est classée parmi les pays en situation de pénurie hydrique, bien en deçà du seuil de rareté fixé à 1000 m³/habitant/an par la Banque mondiale. Dans ce contexte, les eaux destinées à la consommation humaine doivent faire l'objet de traitements adaptés à leur qualité initiale, afin de répondre aux exigences de la norme algérienne de potabilité (NA 6360-1992). Cette norme, inspirée des recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, prend en considération les paramètres organoleptiques, bactériologiques, physico-chimiques, ainsi que les substances indésirables ou toxiques, en fonction des usages de l'eau(**Telli, S. 2017**).

CHAPITRE 2

PARTIE PRATIQUE

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Partie pratique

Le choix de ce thème d'inscrit dans un contexte marqué par l'intérêt croissant accordé, à l'échelle mondiale, à la qualité des ressources hydriques, notamment en avril 2026. Les analyses ont été réalisées au sein du laboratoire de contrôle de qualité du complexe FERTIAL(**Fig. 4**), situé dans la commune d'El-Bouni, wilaya d'Annaba. Il convient de préciser que ce complexe, relevant du groupe SOUNATRACH, est spécialisé dans la production d'engrais. Cette étude porte sur l'analyse de qualité physico-chimique d'échantillons d'eaux prélevés dans différentes régions de la wilaya d'El-tarf, ainsi que sur des eaux de source localement. Les analyses ont été effectuées immédiatement après le prélèvement afin de garantir la fiabilité des résultats obtenus.

Au total, six échantillons ont été étudiés, répartis en deux catégories : quatre (04) échantillons d'eaux de source naturelles et deux (02) marques d'eaux embouteillées. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer leurs caractéristiques physico-chimiques et d'apprécier leur conformité aux normes de qualité en vigueur.

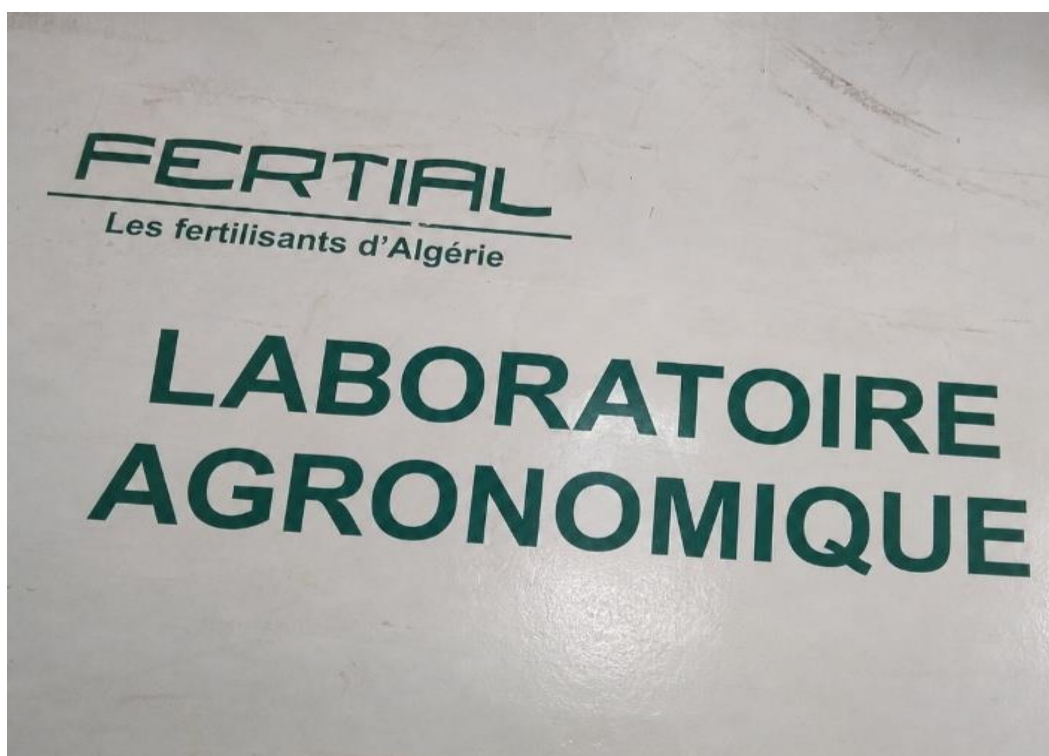


Figure 4 : Laboratoire agronomique Fertil-Annaba
(Flidjane, 2026)

1. Présentation de la région d'étude

➤ Localisation géographique de la wilaya d'El Tarf

La wilaya d'El Tarf est située à l'extrême nord-est de l'Algérie. Elle couvre une superficie d'environ 2908 km² et comptait une population estimée à 427 109 habitants en 2011. Administrativement, cette wilaya est subdivisée en sept daïras : El Tarf, El Kala, Ben M'hidi, Besbes, Dréan, Bouhadjar et Bouteldja, regroupant au total 24 communes.

Le territoire de la wilaya est délimité :

À l'est par la frontière algéro-tunisienne,

À l'ouest par les wilayas d'Annaba et de Guelma,

Au sud par la wilaya de Souk-Ahras,

Et au nord par la mer Méditerranée.

Le littoral de la wilaya d'El Tarf s'étend sur environ 90 km et présente globalement une orientation est-ouest. Il se caractérise par une façade maritime relativement rectiligne, bien que localement sinueuse, constituant un élément géographique (**Fig. 5**), majeur de la région (ONS, 2011).





Figure 5 : A) Localisation géographique de la wilaya d'El-Tarf- B) Localisation géographique de la wilaya d'El-Tarf sur la carte d'Algérie

2. Présentation des zones d'étude

Eau de source

➤ Station d'Oum Teboul

La station d'Oum Teboul est localisée dans la commune d'El Kala, à l'est de la wilaya d'El Tarf, à proximité immédiate de la frontière algéro-tunisienne et de la mer Méditerranée. La région bénéficie d'un climat méditerranéen humide et se caractérise par un environnement naturel riche, notamment en raison de la présence du Parc national d'El Kala, reconnu pour sa biodiversité exceptionnelle(Fig. 6).

Cette zone abrite la source **d'Ain-bargogaya**qui constitue une ressource hydrique importante pour l'alimentation en eau potable de plusieurs localités environnantes. Toutefois, cette source est parfois affectée par des pannes techniques et des perturbations de fonctionnement, ce qui représente un défi pour la gestion durable des ressources en eau dans la région.

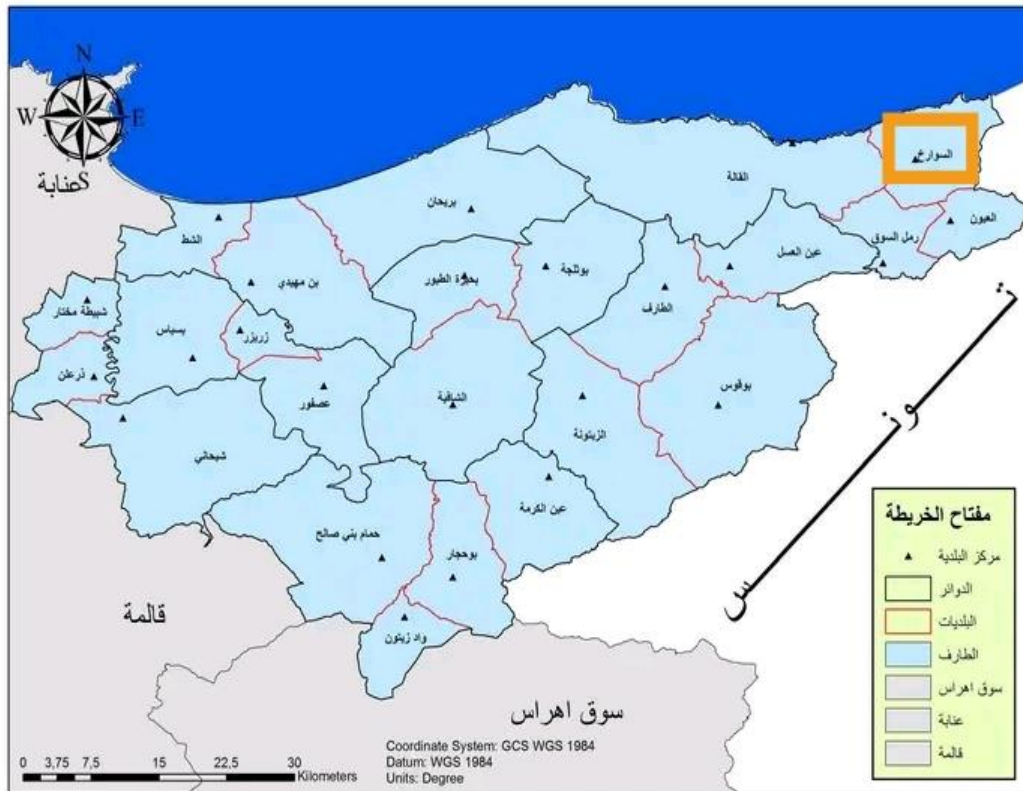


Figure 6 : Localisation géographique de la commune d'Oum Teboul dans la wilaya d'El-Tarf
(Google) (Flidjane, 2026)

➤ Station el Ayoun

La commune d'El Ayoun, rattachée administrativement à la commune d'El Kala dans la wilaya d'El Tarf, est située à l'extrême nord-est d'Algérie, à proximité de la frontière algéro-tunisienne. Elle se trouve à environ 9 km du centre d'Ain Drahem. Cette localité se distingue par une position géographique montagneuse stratégique, avec une altitude moyenne d'environ 294 m. Son territoire est caractérisé par un relief accidenté et un climat relativement humide. Par ailleurs, la commune dépend largement de ses ressources en eaux souterraines pour répondre aux différents besoins de la population et des activités locales (Fig. 7).

La région abrite la source naturelle, **Ain ben Ismail** qui constitue une ressource essentielle pour l'approvisionnement en eau potable des populations locales. Cette source est principalement utilisée pour les besoins domestiques, et dans certains cas pour l'irrigation agricole traditionnelle. Cependant, la zone est confrontée à plusieurs contraintes liées à la gestion de l'eau, notamment des problèmes de distribution, des pannes au niveau des systèmes de pompage et des risques de surexploitation des nappes phréatiques, particulièrement durant

les périodes de sécheresse. Ces caractéristiques confèrent à cette station un intérêt particulier pour l'étude de la gestion durable des ressources hydriques.

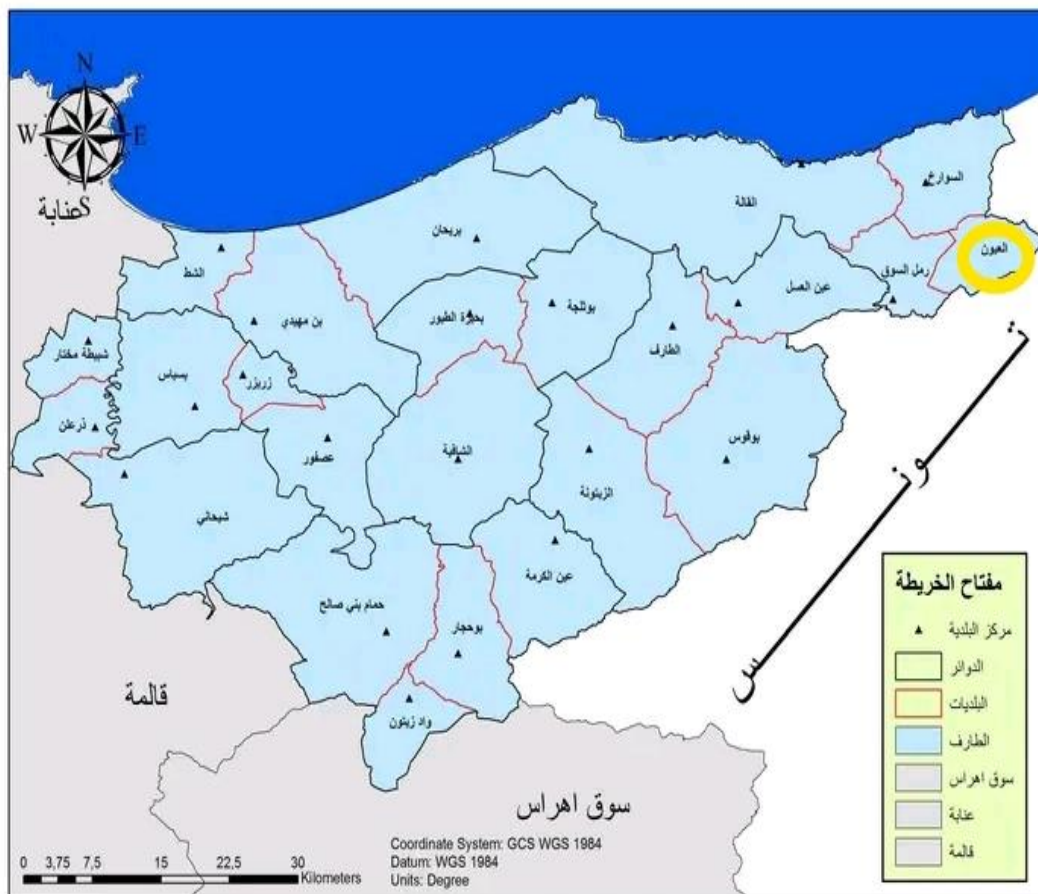


Figure 7 : Localisation géographique de la commune El-Ayoun dans la wilaya d'El-Tarf
(Google) (Flidjane, 2026)

➤ Station Bouteldja

La commune de Bouteldja est administrativement situ »e dans la province d'el tarf, dont elle est chef-lieu du district. Elle bénéficie d'une situation géographique stratégique (**Fig.8**), au sein d'une plaine fertile proche du littoral à environ 12 Kilomètres d'el tarf, la capitale provinciale. Elle est bordée à l'est par la commune d'el tarf, à l'ouest par la région du Lac des Oiseaux et au sud par la commune de Berrihane ; occupant ainsi une position de transition les régions côtières et intérieures.

La commune englobe également plusieurs hameaux, dont le hameau d'Oum el Agareb, où se trouve **la source d'Ain bouglez**. Cette zone se caractérise par la diversité de son

environnement naturel, mêlant plaines et zones humides ce qui lui confère une importance environnementale et agricole significative à l'échelle locale.

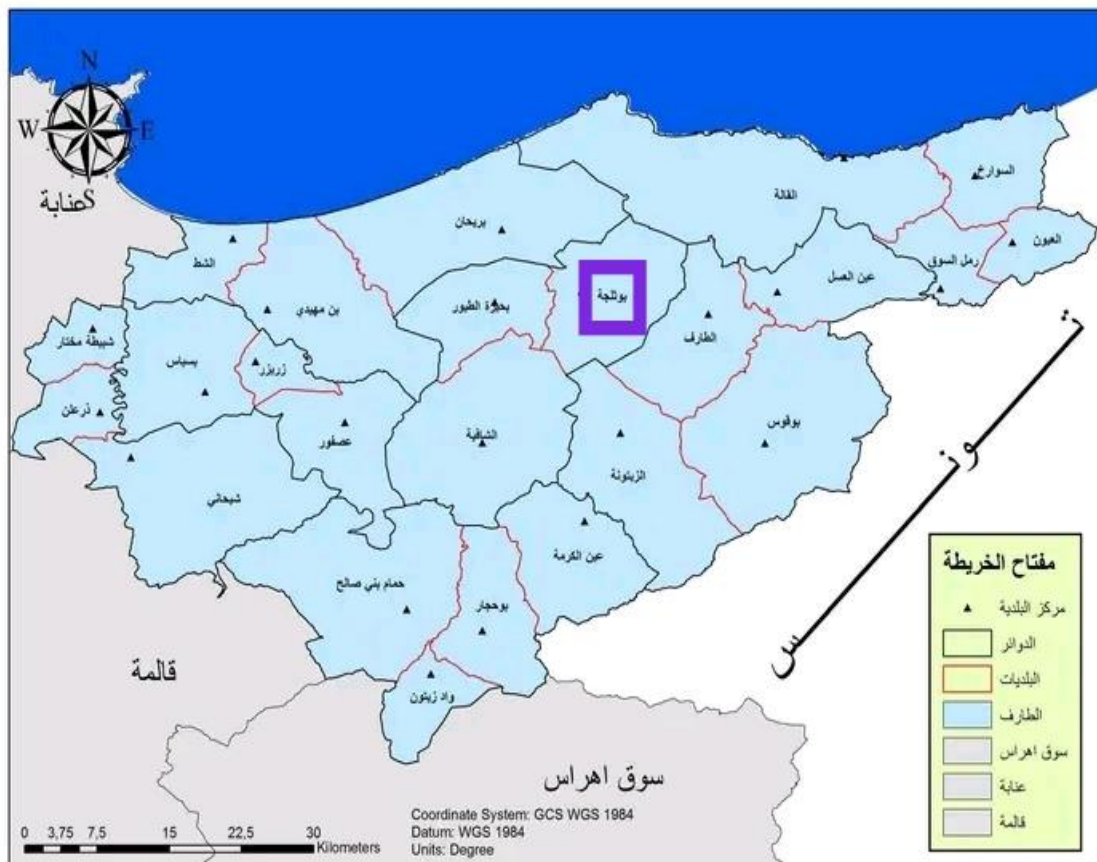


Figure 8 : Localisation géographique de la commune de Bouteldja dans la wilaya d'El-Tarf
(Google) (Flidjane, 2026)

➤ Station de Bougous

Se situe à environ 20 km à l'est de la commune d'El Tarf, dans l'extrême nord-est de l'Algérie. Elle est limitée au nord par la commune d'Aïn El Assel, au sud par celle de Zitouna, à l'ouest par la commune d'El Kala et à l'est par la frontière algéro-tunisienne. La station s'étend sur une superficie d'environ 22 000 hectares, dont près de 1 600 hectares sont occupés par des hêtraies, formant un couvert forestier significatif et contribuant à la diversité écologique de la région(Fig. 9).

Elle abrite également **la source Ain El Khishba**, reconnue pour la qualité exceptionnelle de son eau, utilisée par la population locale à des fins de consommation, domestiques et récréatives. La valorisation complète de ces ressources naturelles requiert néanmoins des investissements et des aménagements adaptés. Ces atouts font de la station de Bougous une

zone attractive pour le tourisme, attirant les visiteurs par la qualité de ses eaux et la richesse de son environnement naturel.

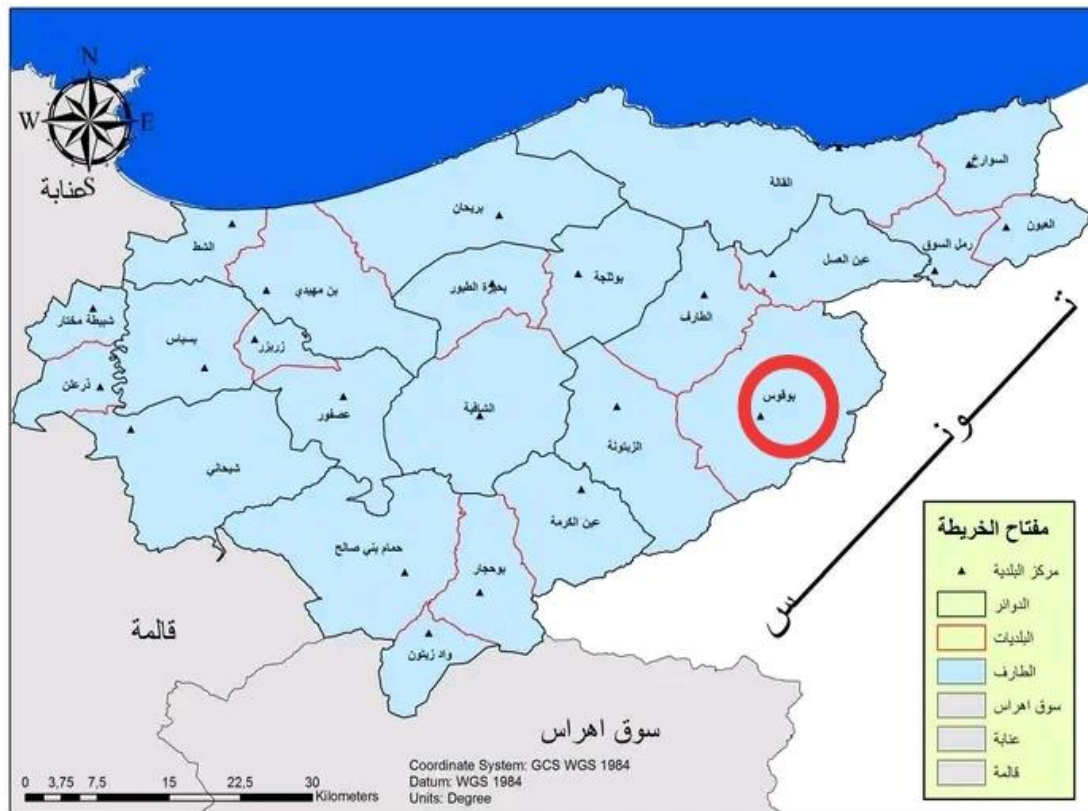


Figure 9 : Localisation géographique de la commune de Bougous dans la wilaya d'El-Tarf
(Google) (Flidjane, 2026)

3. Présentation des sources de prélèvement

Eau de source naturelle

➤ Source d'Ain Bargogaya

Ain Bargogaya est située dans la commune d'Oum Teboul, relevant de la daïra d'El Kala, dans la wilaya d'El Tarf. Elle est limitée à commune de l'Ayoun sue le côté droit, à l'est par la frontière algéro-tunisienne, au sud par la commune de Raml Souk et au nord par la commune d'El Kala. Cette source émerge dans une zone à relief semi-montagneux caractérisée par une couverture végétale dense et des formations forestières importantes, qui jouent un rôle essentiel dans la protection de la ressource contre les différentes formes de pollution et dans l'alimentation de la nappe phréatique. Par ailleurs, cette source se distingue par la fraîcheur et la qualité de ses eaux, ce qui en fait un site naturel apprécié par les visiteurs pour ses paysages

et son cadre écologique. Elle constitue également une ressource hydrique importante pour certaines populations locales, qui l'utilisent pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation et divers usages domestiques, grâce à ses bonnes caractéristiques physico-chimiques comparativement à certaines eaux de surface(**Fig. 10**).



Figure 10 :Source d'Ain Bargogaya
(Flidjane, 2026)

➤ **Source d'Ain Ben Ismail**

Ain Ben Ismail est située dans la commune d'El Ayoun, au sein de la wilaya d'El Tarf, à l'extrême nord-est de l'Algérie. Elle fait partie des nombreuses sources naturelles qui caractérisent cette région, reconnue pour la richesse de ses ressources naturelles et la diversité de ses paysages. L'environnement qui entoure cette source présente les traits d'un milieu naturel varié, reflétant l'importance écologique et hydrologique de la zone. Par ailleurs, les caractéristiques topographiques locales favorisent l'émergence et l'exploitation de ces ressources hydriques, permettant ainsi de répondre aux besoins en eau des populations locales, notamment dans les zones rurales avoisinantes, où les sources naturelles constituent souvent une ressource essentielle face à la disponibilité limitée de l'eau(**Fig. 11**).



Figure 11 : Source Ain ben-Ismail

(Flidjane, 2026)

➤ **Source Ain El Khishba**

La source d'Ain el Khishba se situe sur la commune de bougous, dans le district d'el tarf, province d'el tarf, à l'est de l'Algérie, la région, majoritairement montagneuse, est réputée pour la beauté de ses paysages et ses forêts. Frontalière avec la Tunisie proximité du lac de Tanger et de denses forêts, elle bénéficie d'un climat méditerranéen et se caractérise par un climat rural (**Fig. 12**).



Figure 12 : Source Ain El-Khishba

(Flidjane, 2026)

➤ **Source naturelle de bouglez**

Le captage naturel Ain bouglez constitue l'une des ressources en eaux souterraines les plus importantes à l'échelle locale. Il est situé dans la commune de Bouteldja, plus précisément dans la région d'Oum El Agharib, relevant administrativement de la daïrad'eltarf, dans la wilaya d'eltarf, à l'extrême est de l'Algérie. Le site se distingue par un environnement montagneux et naturel particulier, lui conférant un caractère écologique remarquable. Ses eaux revêtent une grande importance sur les plans environnemental et sanitaire, puisqu'elles sont exploitées pour l'approvisionnement des populations locales en eau, notamment à des fins de consommation humaine, après avoir été soumises à des opérations de contrôle et de traitement, en raison de leurs bonnes caractéristiques naturelles(**Fig. 13**).



Figure 13 : Source naturelle de Bouglez
(Flidjane, 2026)

Eau source en bouteille

➤ **Reghia**

L'eau de Righia est issue de sources naturelles situées au sien de montages d'El-tarf. Elle s'est progressivement imposée sur le marché algérien en raison de ses caractéristiques physico-chimiques remarquables. Sa richesse en sels minéraux est liée à son long parcours géologique, ce qui lui confère une composition spécifique. Ces propriétés contribuent à son intérêt nutritionnel, notamment dans le cadre de la prévention de certaines pathologies.

➤ **Eau Ain Bouglez**

L'eau Ain bouglez, provenant également des reliefs montagneux de la région de wilaya d'el-Tarf, se distingue par sa pureté et sa faible minéralisation, lui conférant une grande légèreté. Elle soumise à des procédés modernes de traitement et d'embouteillage garantissant sa qualité sanitaire. Sa composition en éléments minéraux essentiels participe à la couverture des besoins hydriques quotidiens, tout en étant appréciée pour ses qualités organoleptiques et sa digestibilité.

1. Analyses physicochimiques

1.1 Détermination du potentiel hydrogène (pH)

➤ Principe

Le principe du pH d'eau est repose sur la mesure électro métrique du potentiel électrique d'une solution à l'aide d'une électrode en verre. Cette méthode mesure la concentration en ions hydrogène (H^+), permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité de l'eau.

➤ Matériels

- pH-mètre (**Fig. 14**)
- Agitateur rotatif
- Bécher de 50 ml

➤ Mode opératoire

- Brancher le pH-mètre Le laisser se stabiliser pendant quelques minutes
- Rincer électrode avec d'eaux distillées et avec échantillon a analysé.
- Placerun barreau magnétique dans le bécher.
- Mettre de 20 ml de l'échantillon d'eau, dans le bécher propre.
- Plonger l'électrode dans la solution à analyser.
- Attendre que la lecture se stabilise.

➤ Expression des résultats

- Lire la valeur du pH sur l'écran.



Figure 14: Le pH-mètre

(Flidjane, 2026)

1.2 Détermination de la conductivité

➤ Principe

La conductivité est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique. C'est une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions positifs (cations) ou négatifs (anions). La détermination de la conductivité de l'eau se fait par la **norme ISO 11265-1995**.

➤ Matériels

- Conductimètre(Fig. 15)
- Agitateur rotatif
- Bécher de 50 ml

➤ Mode opératoire

- Allumer l'appareil conductimètre.
- Rincer l'électrode de conductivité avec l'eau distille.
- Rincer, plusieurs fois, l'électrode avec l'échantillon d'eau à analyser pour éviter les contaminations.
- Ajouter un barreau magnétique dans le bécher.
- Mettre 20ml de l'échantillon d'eau dans le bécher propre.
- Plonger l'électrode dans l'eau à analyser.
- Immerger la sonde dans l'eau et essayer d'éliminer les bulles d'air en veillant à assurer une agitation.
- La lecture est effectuée, après la fixation de la valeur de la conductivité.

➤ Expression des résultats

- Les résultats sont donnés directement sur l'écran du conductimètre et sont exprimés en milli siemens ou micro siemens (ms/cm) par centimètre (us/cm), selon la spécification de l'appareil utilisé.



Figure 15: Le conductimètre

(Flidjane, 2026)

1.3 Détermination de la dureté – Titre hydrotimétrique (TH)

➤ Principe

La détermination du titre hydrométrique (TH), qui exprime la dureté totale de l'eau, est mesure la somme des concentrations en ions (Ca^{2+} et Mg^{2+}) par titrage complexométrique à l'EDTA. En milieu tamponné à $\text{pH} = 10$, l'EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) complexe ces ions, le point final étant détecté par le virage du Noir Eriochrome T (N.E.T) du bleu au rouge violet (ISO 6059- 1984).

➤ Matériel

- Burette de 50ml.
- Eprouvette de 100ml.
- Erlenmeyer de 250ml.

➤ Réactifs

- Solution tampon ($\text{pH} = 10$)
- Indicateur coloré de Noir Eriochrome T (N .E.T).
- Sel dis sodique d'acide éthylène diamine tétra-acétique EDTA ($N = 0,0203$).

➤ **Mode opératoire**

- Dans un Erlenmeyer de 250 ml, on prélève 100 ml d'eau à analyse.
- Ajouter 2 ou 3 goutte de solution tampon (**Fig. 16**).
- Ajouter l'indicateur coloré N.E.T, en maintenant une agitation la solution se colore en violet.
- Remplir une burette avec la solution EDTA ou début goutte à goutte.
- Le point d'équivalence est atteint quand la solution passe du bleu au rouge violet.
- Note le volume d EDTA utilisé (**Fig. 17**).

➤ **Expression de résultats**

- La détermination TH, également appelée dureté de l'eau, est exprimée en degrés français (°F), est obtenue à partir d'une relation suivant :

$$[\text{TH}] (\text{°F}) = \text{volume d'EDTA utilisée} \times \text{facteur de concentration}$$



Figure 16: Solution tampon (pH=10)

(Flidjane, 2026)

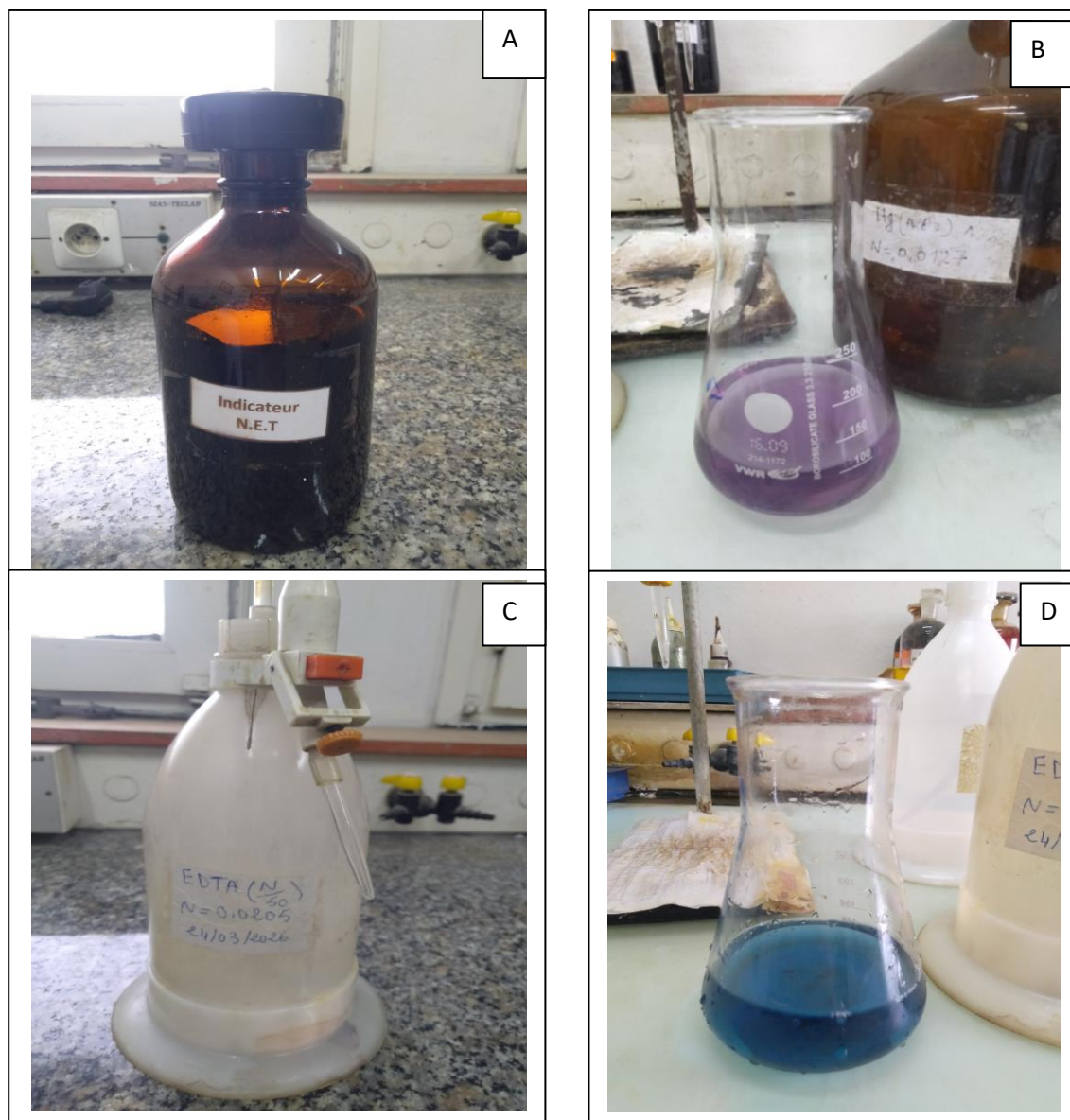


Figure 17 : Détermination du titre hydrométrique (dureté de l'eau)

(A (Indicateur N.E.T) – B (Dosage du TH) – C (Titration par EDTA) – D (Virage de la couleur de l'eau au bleu))(Flidjane, 2026)

1.4 Titre Alcalimétrique (TA)

La détermination du titre alcalimétrique (TA) repose sur la neutralisation d'un volume donné d'eau par une solution acide diluée, en présence d'un indicateur coloré le TA permet d'évaluer la concentration en ions Carbonates (CO_3^{2-}) présents dans l'échantillon d'eau.

➤ **Matériels**

- Eprouvette de 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Burette de 50 ml

➤ **Réactifs**

- Indicateur de phénolphtaléine.

➤ **Mode opératoire**

- A l'aide d'une éprouvette, on ajoute 100 ml d'eau dans un Erlenmeyer de 250 ml.
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'indicateur phénolphthaléine à la solution.
- L'apparition d'une coloration rose indique la présence d'alcalinité.

En absence de coloration rose, le titre alcalimétrique (TA) considère nulle (TA=0), ce qui signifie que l'échantillon ne contient pas d'alcalinité mesurable. Cette situation correspond généralement aux eaux ayant pH inférieur à 8.3, caractéristique par la présence exclusive d'ions bicarbonates (**Fig. 18**).

En revanche, si la solution devient rose, cela indique la présence de carbonates ou d'hydroxydes, et il faut alors ajouter de l'acide nitrique (HNO_3), jusqu'à disparition de la coloration.

Après ce traitement, la solution doit alors être incolore transparente, ce qui indique que la réaction est complète. En pratique, les échantillons ont montré que la concentration en ions carbonate (CO_3^{2-}) est nulle, ce qui est cohérent avec les caractéristiques des eaux naturelles faiblement alcalines.

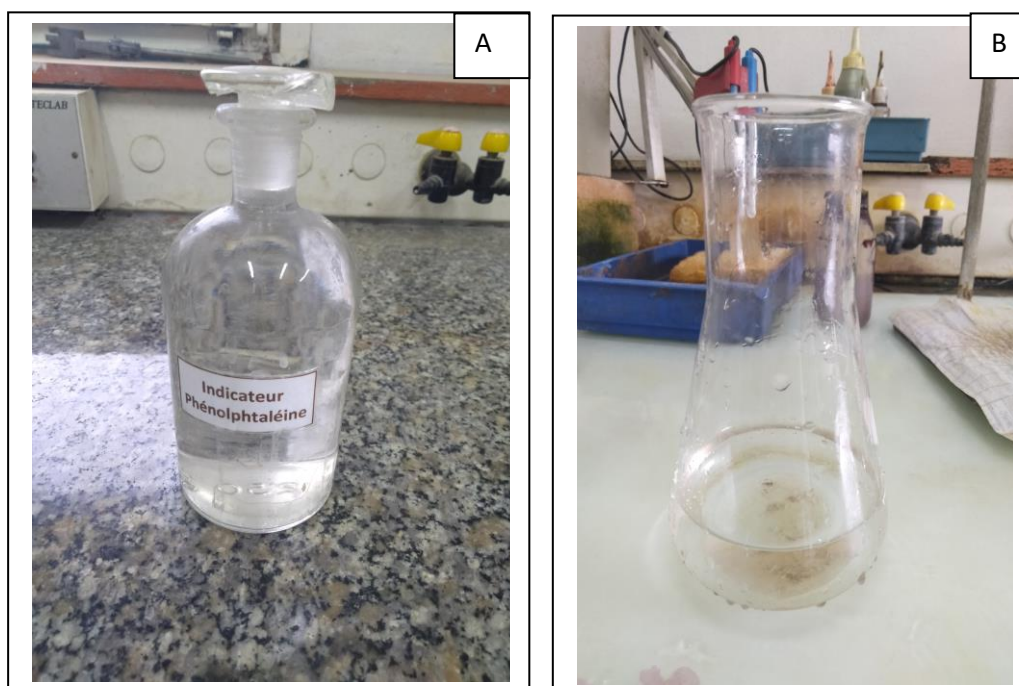


Figure 18 :Détermination du titre alcalimétrique (TA)

(Flidjane, 2026)

1.5 Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

➤ Principe

La détermination du titre alcalimétrique (TAC) repose sur la neutralisation d'un volume d'eau, initialement utilisé pour l'évaluation du titre alcalimétrique (TA), par une solution d'acide minérale diluée, cette opération est réalisée en présence du méthylorange, utilisé comme indicateur coloré afin de repérer le point d'équivalence.

➤ Matériels

- Erlenmeyer de 250 ml
- Eprouvette de 100 ml
- Burette de 50 ml

➤ Réactifs

- Indicateur de phénophtaléine
- Acide nitrique HNO_3 (N/50)
- Méthylorange

➤ **Mode opératoire**

- Utilisé le prélèvement primitif (celui du TA), s'il n'y a en décoloration de l'échantillon traité précédemment.
- Ajouter 2 à 3 gouttes d'indicateur méthylorange.
- Traiter avec le même acide HNO_3 (0.04 N), jusqu' au virage de la couleur jaune au ou jaune orangé (**Fig. 19**).

➤ **Expression des résultats**

- La valeur du TAC est déterminée à partir de la relation appropriée permettant son expression quantitative :

$$[\text{TAC}] = V_2 \cdot N \cdot \text{MM} \cdot 10 / V$$

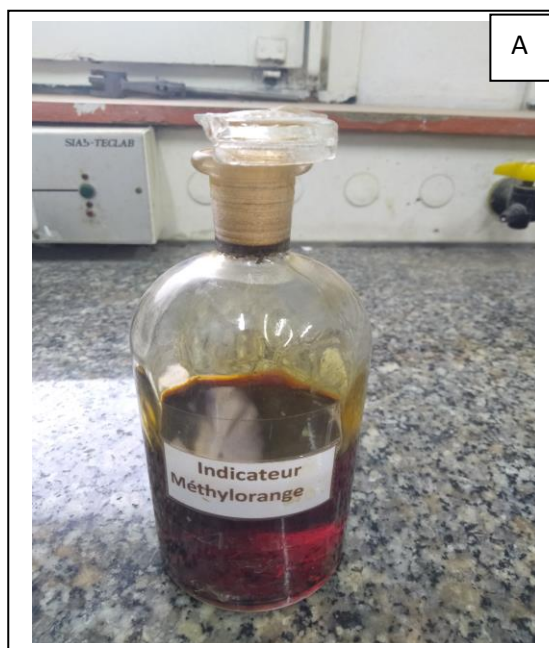
Ou :

V_2 : Volume utilisé pour la titration

N : 0.04 N de HNO_3

MM : Masse molaire de HNO_3

V : Volume totale dans l'erenmeyer



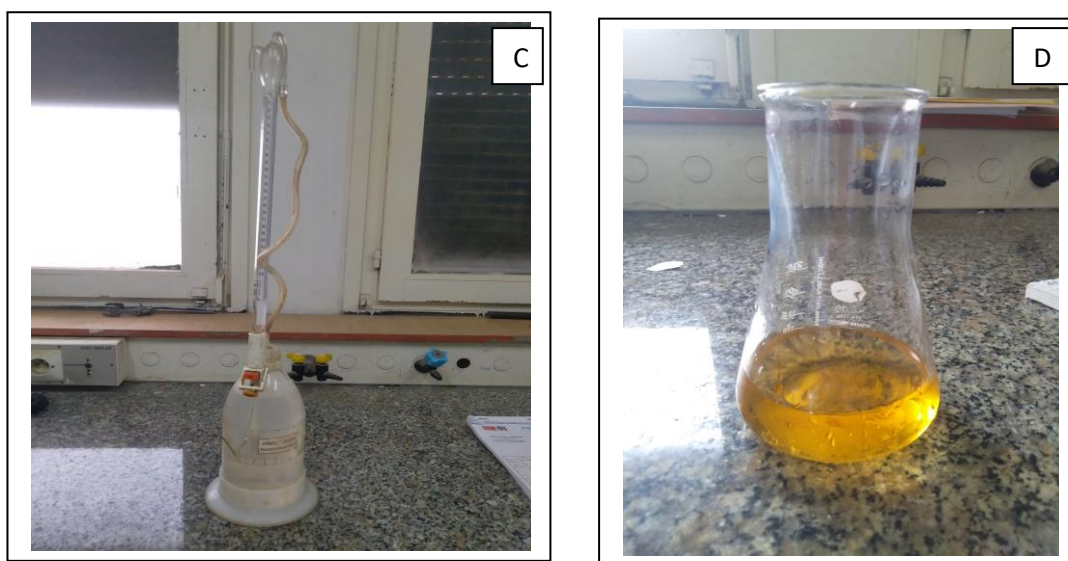


Figure 19 : Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC)

(A (Indicateur Méthylorange) – B (Virage de la couleur au jaune) – C (Titration par HNO_3

– D (Couleur jaune orange) (Flidjane, 2026)

1.6 Dosages des chlorures

➤ Principe

Les chlorures sont dosés dans l'eau par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte brume-rouge caractéristique du chromate d'argent.

➤ Matériels

- Eprouvette de 10 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Burette de 50 ml

➤ Réactifs

- Acide nitrate HNO_3 (0,04 N)
- Nitrate d'argent AgNO_3
- Indicateur Diphénylcarbazone

➤ Mode opératoire

- Dans un Erlenmeyer de 250 ml, prélève 100 ml d'eau à analyser.
- Ajouter 2 à 3 gouttes Diphénylcarbazone.
- Neutraliser par acide nitrate HNO_3 .

- A puis on titre avec le nitrate d'argent (AgNO_3), jusqu'au virage au rouge brique(**Fig. 20**).

➤ **Expression des résultats**

- La détermination des chlorures, exprimée en mg/L, est obtenue à partir de la formule de calcul correspondante :

$$[\text{Cl}^-] = V (\text{AgNO}_3) \cdot 71 \cdot F$$

Ou :

Cl^- : Concentration de chlorures en mg/L.

$V (\text{AgNO}_3)$: Volume d' AgNO_3 en ml, nécessaire pour une concentration donnée.

F : facteur de correction du titre d' AgNO_3 .



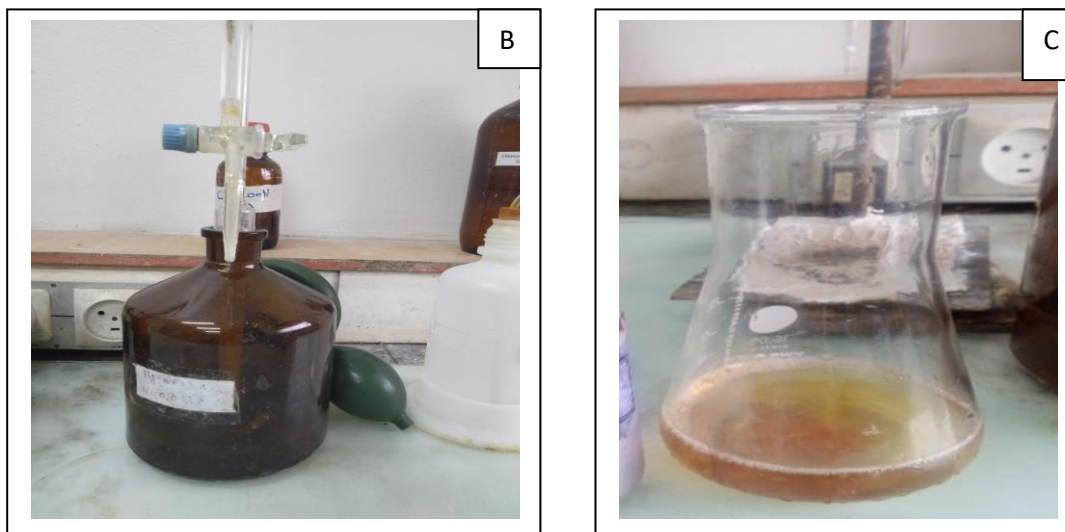


Figure 20 : Dosage des Chlorures

(A (Indicateur Diphenylcarbazone) –B (Titration avec AgNO_3) –C (virage de la couleur au bleu mauve)) (Flidjane, 2026)

1.7 Dosage des nitrites (NO_2^-)

Les ions nitrites réagissent en milieu acide ($\text{pH}=1,9$) avec la sulfamiazole pour former un sel de diazonium par réaction de diazotation. Ce composé intermédiaire se combine ensuite avec la N (1-naphtyle) éthylène diamine dihydrochlorée pour donner naissance à un colorant azoïque de couleur rouge (Norme ISO 6777 NA 1657 ; Norme ISO 5667, 2002 (F)).

➤ Matériels

- Pipette de 10 ml
- Bécher de 100 ml
- Cuve carrée de 5 ml
- Spectrophotomètre

➤ Réactifs

- Nitra Ver 2 réactifs pour les nitrites (Fig. 21).

➤ Mode opératoire

- Allumer le spectrophotomètre, sélectionner le numéro de programme mémorisé pour les nitrites et appuyer sur enter. La longueur d'onde 520 nm est automatiquement sélectionnée.
- Par une pipette, on prélève 10 ml de l'échantillon d'eau à analyser, puis les verser dans le bécher.

- Ajouter le contenu de réactifs (Nitra Ver 2).
- Agiter pour bien mélanger et attendre, le temps de la réaction pendant 5 min.
- Remplir la cuvette avec l'échantillon blanc (l'échantillon blanc = eau distillée + Nitra Ver 2 pour NO_2^-).
- Quand le minuteur sonne, appuyer sur Zéro/Blanc, pour effectuer la lecture pour l'échantillon blanc.
- Ensuite, placer l'échantillon d'eau préparé, contenant le réactif.
- Puis passer l'échantillon dans le spectromètrephomètre.
- Le résultat s'affiche sur l'écran du spectrophotomètre(**Fig. 22**).

➤ **Expression des résultats**

- La concentration en nitrite (NO_2^-), mesurée dans l'échantillon d'eau analysée est exprimée en milligramme par litre (mg/L).

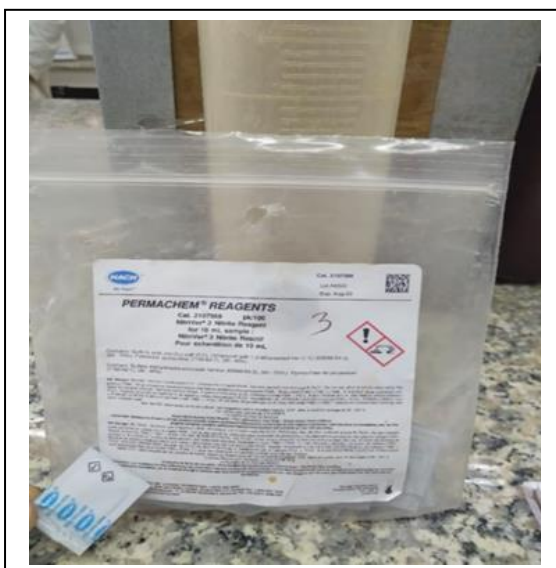


Figure 21Le Réactif Nitra Ver 2



Figure 22 : Le Spectrophotomètre

(Flidjane, 2026)

1.8 Dosage des nitrates (NO_3^-)

➤ **Principe**

Le dosage des nitrates repose sur leur réaction avec le 2-6 diméthylphénol en milieu fortement acide, en présence d'acide sulfurique et d'acide phosphorique. Cette réaction conduit à la formation du nitro-4 diméthylphénol, composé coloré dont le développement est

généralement complet après un temps de réaction d'environ 5 min. L'intensité de la coloration obtenue est ensuite déterminée par spectrophotométrie, en mesurant l'absorbance à une longueur d'onde de 324 nm (**Norme ISO 7890-1986 (F)**).

➤ **Matériels**

- Bécher de 100 ml
- Pipete de 10 ml
- Cuve carrée de 5 ml
- Spectrophotomètre

➤ **Réactifs**

- Nitra Ver 5 réactifs pour les nitrates(**Fig. 23**).

➤ **Mode opératoire**

- Allumer le spectrophotomètre, sélectionner le numéro de programme mémorisé pour les nitrates et presser enter. La longueur d'onde 527 nm est automatiquement sélectionnée.
- Par une pipette, on prélève 10 ml de l'échantillon d'eau à analyser, puis les verser dans le bécher.
- Ajouter le contenu de réactifs (Nitra Ver 5).
- Agiter pour bien mélanger et attendre, le temps de la réaction pendant 5 min.
- Remplir la cuvette avec l'échantillon blanc (l'échantillon blanc = eau distillée + Nitra Ver 5 pour NO_2^-).
- Quand le minuteur sonne, appuyer sur Zéro/Blanc, pour effectuer la lecture pour l'échantillon blanc.
- Ensuite, placer l'échantillon d'eau préparé, contenant le réactif.
- Le résultat s'affiche sur l'écran du spectrophotomètre.

Expression des résultats

- La concentration en nitrate (NO_3^-), mesurée dans l'échantillon d'eau analysée est exprimée en milligramme par litre (mg/L).



Figure 23 : Le Réactif Nitra Ver 5

(Flidjane, 2026)

1.9 Dosage des sulfates (SO_4^{2-})

➤ Principe

Les ions sulfates sont précipités et pesés à l'état de sulfate de baryum (Norme ISO 5667,2004 (F)).

➤ Matériels

- Spectrophotomètre
- Pipete de 10 ml
- Bécher de 100 ml
- Cuve carrée de 5 ml

➤ Réactifs

- Sulfa Ver 4 réactifs pour les sulfates (inhibiteur) (Fig. 24).

➤ Mode opératoire

- Après avoir allumé le spectrophotomètre, sélectionner le programme sur SO_4^{2-} . La longueur d'onde spécifique est de 450 nm.
- Prélever 10 ml de l'échantillon d'eau, puis les verser dans le bécher.
- Ajouter le réactif pour les sulfates (Sulfa Ver 4).

- Agiter pour bien mélanger et attendre 20 min le temps de la réaction. Est active l'alarme du spectrophotomètre.
- Remplir la cuvette avec l'échantillon blanc (l'échantillon blanc = eau distillée + sulfa Ver 4 pour SO_4^{2-}).
- Quand le minuteur sonne, appuyer sur Zéro/blanc, pour effectuer la lecture de l'échantillon blanc.
- Placer, par la suite l'échantillon d'eau préparé contenant le réactifs.

➤ **Expression des résultats**

- La valeur de la concentration des sulfates (SO_4^{2-}), retrouvée dans l'eau analysée, est exprimée en mg/l.

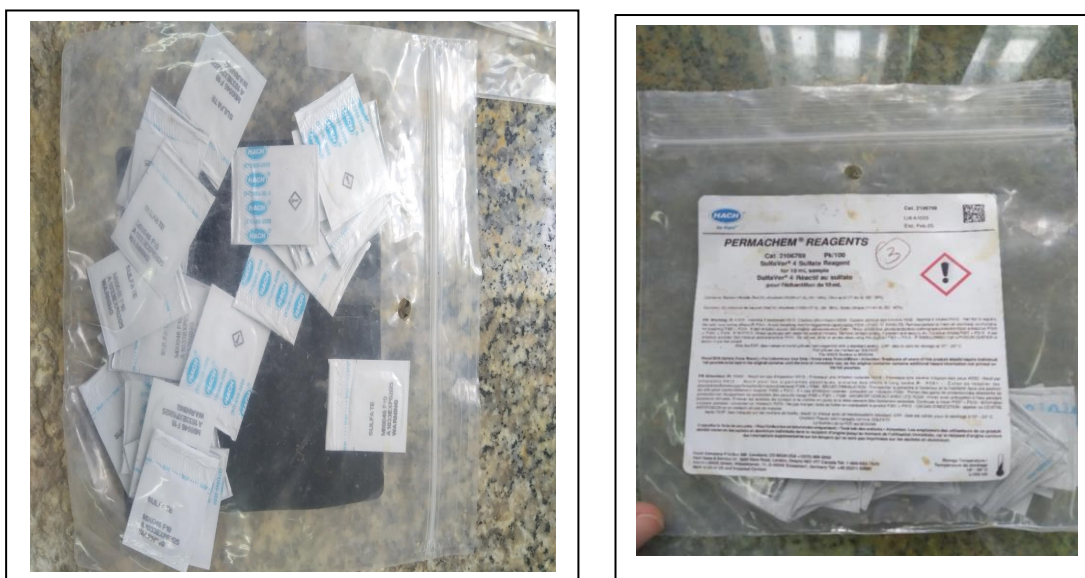


Figure 24 : Le Réactif Sulfa Ver 4

(Flidjane, 2026)

1.10 Détermination des cations potassium (K^+) et sodium (Na^+)

➤ **Principe**

La détermination des cations potassium (K^+) et sodium (Na^+) extractibles dans l'eau repose sur une étape préalable d'extraction par agitation d'échantillon en présence d'une solution d'acétate d'ammonium. Une fois les cations mis en solution, leur quantification est réalisée à l'aide de la spectrophotométrie de flamme, technique permettant de mesurer l'intensité du rayonnement émis par ces éléments lorsqu'ils sont excités dans une flamme.

➤ **Matériels**

- Spectrophotomètre d'émission de flamme (**Fig. 25**).
- Agitateur
- Distributeur
- Filtres sans cendre
- Récipients pour l'agitation
- Balance analytique

➤ **Réactifs**

- Les solutions étalons mères utilisées sont préparées comme suit :
- Solution de potassium (K^+) de concentration équivalente à C ($0,500 \text{ g.L}^{-1}$) exprimée en K_2O , est obtenue par dissolution de 0,793 g de chlorure de potassium (KCl) dans un 1 litre d'eau.
- Solution de Sodium (Na^+) de concentration équivalente à C ($0,500 \text{ g.L}^{-1}$) exprimée en Na_2O , est obtenue par dissolution de 0,943 g de chlorure de Sodium (NaCl) dans un 1 litre d'eau.

➤ **Mode opératoire**

- Allumer l'appareil de spectrophotomètre de flamme d'alimentation carburant.
- Allumer compresseur d'air.
- Appuyer sur la touche d'alimentation pour allumer l'appareil.
- Après démarrage de l'appareil, les solutions étalons de sodium et potassium sont introduites dans spectrophotométrie d'émission de flamme.
- Laisser la spectrophotométrie d'émission de flamme un temps de stabilisation d'environ 30 minutes est respecté afin d'assurer des conditions de mesure optimales.
- Le spectrophotomètre d'émission de flamme est un système informatique, pour numériser le graphique pour analyse.

➤ **Expression des résultats**

- Les concentrations des ions potassium (K^+) et sodium (Na^+) dans l'échantillon d'eau analysés sont directement affichées par l'Ordinateur (**Fig. 26**).
- Les résultats sont exprimés en milligramme par litre (mg).



Figure 25 : Le spectrophotomètre démission de flammes
(Flidjane, 2026)

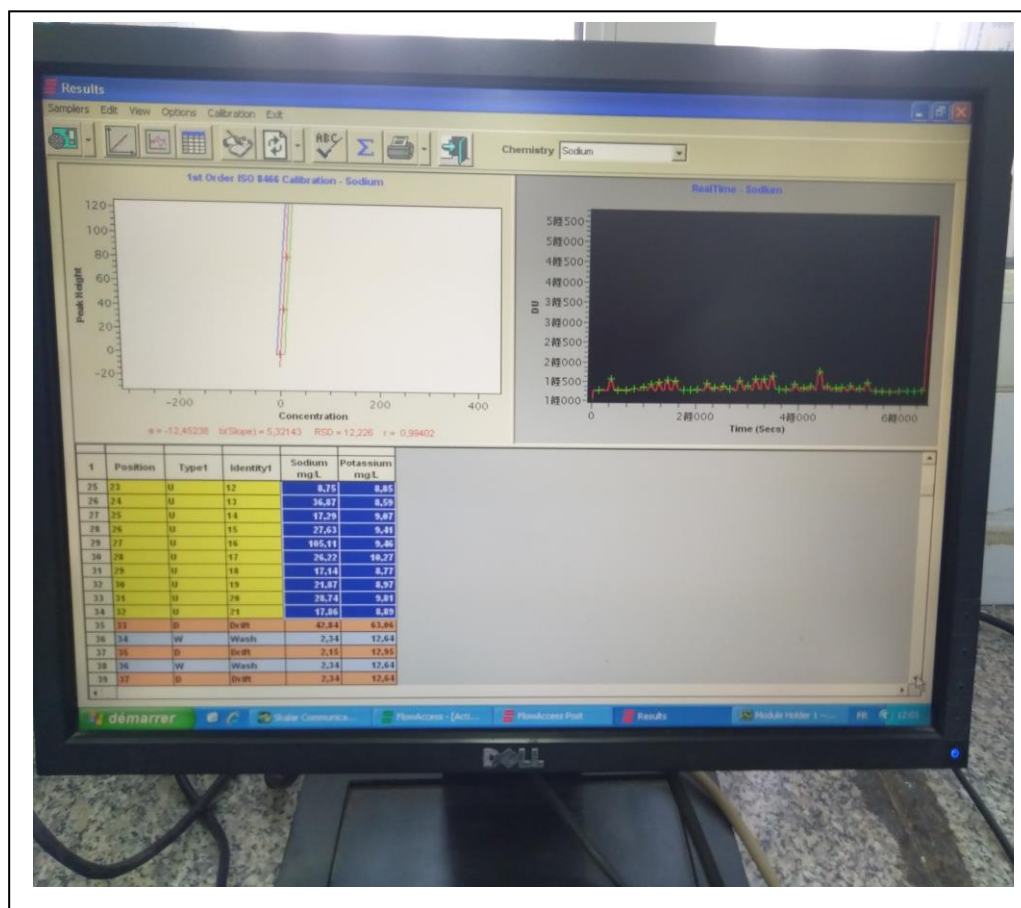


Figure 26 : Les Résultats des ions Sodium et potassium

(Flidjane, 2026)

1.11Détermination des ions de calcium

➤ Principe

Le dosage des ions calcium (Ca^{2+}) est réalisé par complexométrie à l'aide de l'EDTA mais, on précipite l'ion de magnésium sous forme de hydroxyde de magnésium $\text{Mg}(\text{OH})_2$, vers pH 12, par addition de soude. L'indicateur utilisé présente une sélectivité vis-à-vis des ions calcium(Rodier, 2009).

➤ Matériels

- Pipette de 100 ml
- Erlenmeyer de 250 ml
- Eprouvette de 100 ml
- Spatule
- Fiole jaugée

➤ **Réactifs**

- Solution de NaOH (Hydroxyde de sodium)
- Solution EDTA (N= 0.0203)
- Indicateur Patton et réeder

➤ **Mode opératoire**

- Dans Erlenmeyer de 250 ml, on prélève 100 ml d'eau à analyser.
- Ajoute de solution de NaOH et environ de l'indicateur Patton et réeder, mélange bien la solution.
- Ensuite, ajouter la solution d'EDTA toute continuant d'agitation de manière rapide au début, puis progressivement goutte à goutte à l'approche du point d'équivalence.
- Le virage est atteint lorsque la couleur change du rose au violet à la fin marque du titrage(**Fig. 27**).

➤ **Expression des résultats**

- La valeur des ions du calcium retrouvé dans l'échantillon d'eau à analysés, est exprimée en mg/L, est donnée par la formule suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}] \text{ (mg/L)} = \frac{(V_{\text{EDTA}} \times N_{\text{EDTA}} \times 20,04) / 1000 \times 1000}{(P_e \times 1000)}$$

Ou : V_{EDTA} : Volume en millilitre de la solution EDTA utilisé pour le titrage

N_{EDTA} : Normalité d'EDTA

P_e : Prise d'essai (volume d'échantillon nécessaire pour ce dosage (ml))

Equivalence de Ca^{2+} : 20 g/mol



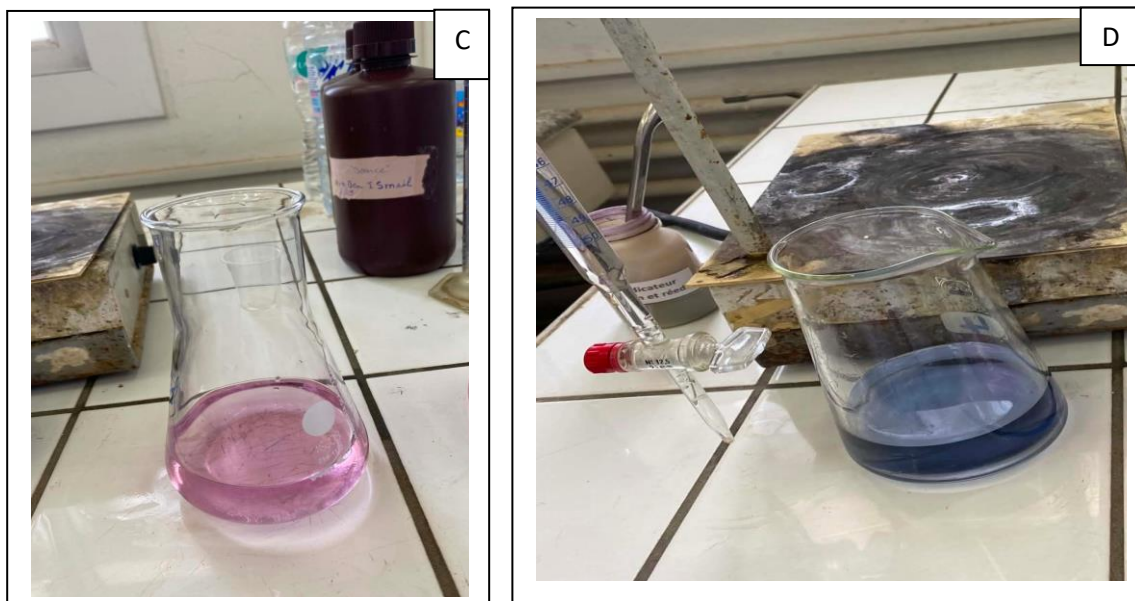


Figure 27 : Dosage de calcium

(A (Echantillon à analyse)-B(Indicateur Patton et réeder) –C (Virage de la couleur rose) – D(Titrage par EDTA (couleur violet))(Flidjane, 2026)

1.12 Dosage de magnésienne (Mg^{2+})

La dureté magnésienne est obtenue par différence entre la dureté totale et la dureté calcique.

La concentration en ions du magnésium est calculée selon la formule suivante :

$$\text{TH} = \text{T}_{\text{Ca}^{2+}} + \text{T}_{\text{Mg}^{2+}} \quad \longrightarrow \quad \text{T}_{\text{Mg}^{2+}} = \text{TH} - \text{T}_{\text{Ca}^{2+}} \text{ (en mg/l)}$$

Ou :

TH : Dureté totale (°F)

$\text{T}_{\text{Ca}^{2+}}$: Dureté calcique (°F)

$\text{T}_{\text{Mg}^{2+}}$: Dureté magnésienne (°F) (Rodier et al, 2009).

CHAPITRE 3

RÉSULTATS ET DISCUSSION

2. Résultats et discussion

Les analyses des paramètres physico-chimiques des 06 échantillons d'eaux en source et eau en bouteille étudiés (Conductivité, ph, Chlorures, nitrates, Nitrites, Sulfates, Sodium, Potassium, Calcium, Magnésium), nous ont permis d'obtenir les résultats suivants (**Tab 5**) :

Tableau 5 : Résultats des analyses physico-chimiques

(Flidjane, 2026)

Les sources	Les concentrations des anions (mg/l)				Les concentrations des cations (mg/l)				pH	Conductivité à 25 °C (us/cm)	TAC (mg/l)	TA (mg/l)	TH (°F)
	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺					
Ain El-Khishba	23,53	0,29	1,22	29,75	8,77	17,14	7,80	10,22	5,50	197,4	1,2	0	41
Ain Bargougaya	13,49	0,66	0,61	23,44	8,97	21,87	3,69	8,28	4,79	220	0,07	0	26,55
Ain ben-Ismaïl	24,48	0,20	0,72	18,03	9,81	28,74	9,04	8,76	5,52	262	1	0	41
Bouglez (source naturelle)	7,97	0,31	1,36	9,92	8,89	17,86	6,57	7,79	5,65	196,6	1,5	0	32,80
Ain Bouglez	9,58	0,18	1,80	21,15	10,27	26,22	3,25	7,79	7,50	184,5	2,70	0	24,60
Reghia	3,33	0,11	0,98	9,33	3,66	15,96	14,42	4,87	6,95	148,2	1,60	0	19,48

Sur la base des résultats obtenus, deux approches complémentaires ont été adoptées :

La première approche porte sur l'analyse de la composition chimique des eaux étudiées. Pour chaque paramètre mesuré, une comparaison a été effectuée entre les valeurs expérimentales obtenues et celles indiqués sur les normes internationales de l'eau source, et l'étiquetage des différents marquent d'eau en bouteilles. Cette démarche vis à vérifier d'une part la fiabilité des protocoles analytiques appliqués et d'autre part la stabilité de la composition physicochimique de ces eaux.

Deuxième approche, est concerné à l'évaluation de la qualité physicochimique des échantillons analysés. Elle consiste à examiner séparément chaque paramètre pour chaque type d'eau (eau de source).

L'objectif, est d'une part d'apprécier la conformité des résultats obtenus avec les exigences de la réglementation algérienne, à travers leur comparaison avec les normes en vigueur publiées dans les journaux officiels (**JORA, 2015**) et Organisation mondiale de la santé (OMS), d'identifier les eaux présentant un intérêt notionnel, notamment en termes d'apport en élément minéraux essentiels.

2.1 Composition chimique

2.1.1 Comparaison des résultats des analyses avec les normes JORA

➤ Eaux source

2.1.1.1 Eaux source Ain El-Khishba

Après avoir analysé les paramètres physicochimique de cette eau, les valeurs des résultats obtenus et celles figurant sur les normes dans les journaux officiels (JORA) de cette sont regroupées dans le tableau suivants(**Tab 6**) :

Tableau 6 : Résultats des analyses et valeurs de la norme de source Ain El-Khishba
(Flidjane, 2026)

Paramètre	Les analyses	Norme JORA (2015)
pH	5,50	6,5-8,5
Cl ⁻	29,75	500 mg/l
SO ₄ ⁻²	23,53	400 mg/l
NO ₂ ⁻	0,29	≤ 0,1 mg/l
NO ₃ ⁻	1,22	≤ 50 mg/l
K ⁺	8,77	20 mg/l
Na ⁺	17,14	≤ 200 mg/l
Ca ²⁺	7,80	200 mg/l
Mg ²⁺	10,22	150 mg/l

Sur la base de comparaison, on l'analyse physicochimique de l'eau de la source Ain El-khishba met en évidence une composition globalement faible en sels minéraux avec certaines différences entre les résultats des autres paramétré expérimentaux à la valeur mentionnée sur la norme aux JORA :

- Que nous avons obtenus, les résultats sont légèrement conformes, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux **JORA (2015)**, pour Les anions (Chlorures, Sulfates, Nitrates) et les cations majeur (Magnésium, Sodium et Potassium).
- Par contre, nos résultats sont légèrement non conforme, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux JORA, pour Nitrites, pH et calcium).

En façon générales, la source Ain El-Khishba présente une qualité chimique acceptable pour plusieurs ions majeurs, mais n'est pas entièrement conforme à la consommation directe.

2.1.1.2 Ain Bargougaya

Après avoir analysé les paramètres physicochimique de cette eau, les valeurs des résultats obtenus et celles figurant sur les normes dans les journaux officiels (JORA) de cette sont regroupées dans le tableau suivants (**Tab 7**) :

Tableau 7 : Résultats des analyses et valeurs de la norme de source Ain-Bargougaya
(Flidjane, 2026)

Paramètre	Les analyses	Norme JORA (2015)
pH	4,79	6,5-8,5
Cl ⁻	23,44	500 mg/l
SO ₄ ²⁻	13,49	400mg/l
NO ₂ ⁻	0,66	≤ 0,1 mg/l
NO ₃ ⁻	0,61	≤ 50 mg/l
K ⁺	8,97	20 mg/l
Na ⁺	21,87	≤ 200 mg/l
Ca ²⁺	3,69	200 mg/l
Mg ²⁺	8,28	150 mg/l

Sur la base de comparaison, on l'analyse physicochimique de l'eau de la source Ain bargougaya met en évidence une composition globalement faible en sels minéraux avec certaines différences entre les résultats des autres paramétré expérimentaux à la valeur mentionnée sur la norme aux JORA :

- Que nous avons obtenus, les résultats sont légèrement conformes, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux **JORA (2015)**, pour Les anions (Chlorures, Sulfates, Nitrates) et les cations majeur (Magnésium, Sodium et Potassium).
- Par contre, nos résultats sont légèrement non conforme, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux (**JORA 2015**), pour Nitrites, pH et calcium).

En façon générales, la source Ain bargougaya présente une qualité chimique acceptable pour plusieurs ions majeurs, mais n'est pas entièrement conforme à la consommation directe.

2.1.1.3 Ain Ben-Ismail

Après avoir analysé les paramètres physicochimique de cette eau, les valeurs des résultats obtenus et celles figurant sur les normes dans les journaux officiels de cette sont regroupées dans le tableau suivants (**Tab 8**) :

Tableau 8 : Résultats des analyses et valeurs de la norme de source Ain Ben-Ismail
(Flidjane, 2026)

Paramètre	Les analyses	Normes JORA(2015)
pH	5,52	6,5-8,5
Cl ⁻	18,03	500 mg/l
SO ₄ ²⁻	24,48	400 mg/l
NO ₂ ⁻	0,20	≤ 0,1 mg/l
NO ₃ ⁻	0,72	≤ 50 mg/l
K ⁺	9,81	20 mg/l
Na ⁺	28,74	≤ 200 mg/l
Ca ²⁺	9,04	200 mg/l
Mg ²⁺	8,76	150 mg/l

Sur la base de comparaison, on l'analyse physicochimique de l'eau de la source Ain Ben-Ismail met en évidence une composition globalement faible en sels minéraux avec certaines différences entre les résultats des autres paramétré expérimentaux à la valeur mentionnée sur la norme aux JORA :

- Que nous avons obtenus, les résultats sont légèrement conformes, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux **JORA (2015)**, pour Les anions (Chlorures, Sulfates, Nitrates) et les cations majeur (Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium).
- Par contre, nos résultats sont légèrement non conforme, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux JORA (2015), pour Nitrites, pH).

En façon générales, la source Ain Ben-Ismail présente une qualité minérale acceptable pour plusieurs ions majeurs, mais n'est pas conforme à la consommation directe.

2.1.1.4 Source naturelle de Bouglez

Après avoir analysé les paramètres physicochimique de cette eau, les valeurs des résultats obtenus et celles figurant sur les normes dans les journaux officiels de cette sont regroupées dans le tableau suivants (**Tab 9**) :

Tableau 9 : Résultats des analyses et valeurs de la norme de source naturelle de bouglez
(Flidjane, 2026)

Paramètre	Les analyses	Norma JORA (2015)
pH	5,65	6,5-8,5
Cl ⁻	9,92	500 mg/l
SO ₄ ²⁻	7,97	400mg/l
NO ₂ ⁻	0,31	≤ 0,1 mg/l
NO ₃ ⁻	1,36	≤ 50 mg/l
K ⁺	8,89	20 mg/l
Na ⁺	17,86	≤ 200 mg/l
Ca ²⁺	6,57	200 mg/l
Mg ²⁺	7,79	150 mg/l

Sur la base de comparaison, on l'analyse physicochimique de l'eau de la source naturelle de bouglez, met en évidence une composition globalement faible en sels minéraux avec certaines différences entre les résultats des autres paramétré expérimentaux à la valeur mentionnée sur la norme aux **JORA**:

- Que nous avons obtenus, les résultats sont légèrement conformes, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux **JORA (2015)**, pour Les anions (Chlorures, Sulfates, Nitrates) et les cations majeur (Calcium, Magnésium, Sodium et Potassium).
- Par contre, nos résultats sont légèrement non conforme, comparés à la valeur mentionnée sur la norme aux **JORA (2015)**, pour Nitrites, pH).

En façon générales, la source naturelle de bouglez présente une qualité chimique acceptable pour plusieurs ions majeurs, mais n'est pas entièrement conforme à la consommation directe.

2.1.1.5 Ain Bouglez

Après avoir analysé les paramètres physicochimique de cette eau, les valeurs des résultats obtenus et celles figurant sur les normes dans les journaux officiels (JORA) de cette sont regroupées dans le tableau suivants (**Tab 10**) :

Tableau 10 : Résultats des analyses et valeurs de l'étiquetage de la marque Ain Bouglez (Flidjane, 2026)

paramètre	Les analyses	l'étiquetage
pH	7,50	6,8
Cl⁻	21,15	30
So₄²⁻	9,58	10
No₃⁻	1,80	0,06
No₂⁻	0,18	9
K⁺	10,27	29
Na⁺	26,22	1
Ca²⁺	3,25	4,6
Mg²⁺	7,79	3,75

Sur la base de comparaison, on l'analyse physicochimique de l'eau source Ain bouglez, met en évidence une composition globalement faible en sels minéraux avec certaines différences entre les résultats des autres paramétré expérimentaux que nous avons obtenus, sont légèrement inférieurs auxvaleurs mentionnée sur l'étiquetage de cette marque :

- Une différence de moins 8,85 mg/l, pour les chlorures.
- Une différence de moins (0,42 mg/l), pour les sulfates.
- Une différence de moins (7,20 mg/l), pour les nitrates.
- Une différence pour les cations majeurs, Sodium et Calcium.
- Par contre, nos résultats sont légèrement supérieur, comparés aux valeurs de l'étiquetage, pour pH (plus 0,70 mg/l) et les nitrites (plus 0,12 mg/l), les cations majeurs le Magnésium (plus 4,04 mg/l) et le potassium (plus 7mg/l).

En façon générales, la source Ain bouglez présente une qualité chimique acceptable pour plusieurs ions majeurs.

2.1.1.6 Righia

Après avoir analysé les paramètres physicochimique de cette eau, les valeurs des résultats obtenus et celles figurant sur les normes au journal officielle de cette sont regroupées dans le tableau suivants (**Tab 11**) :

Tableau 11 : Résultats des analyses et valeurs de l'étiquetage de la marque Righia
(Flidjane, 2026)

paramètre	Les analyses	l'étiquetage
pH	6,95	6,70
Cl ⁻	14,42	19,3
SO ₄ ²⁻	3,33	1
NO ₂ ⁻	0,11	0,02
NO ₃ ⁻	0,98	2,5
K ⁺	9,33	0,3
Na ⁺	15,96	12,8
Ca ²⁺	3,66	8
Mg ²⁺	4,87	3

Sur la base de comparaison, on l'analyse physicochimique de l'eau de source Righia, met en évidence une composition globalement faible en sels minéraux avec certaines différences entre les résultats des autres paramétré expérimentaux que nous avons obtenus, sont légèrement inférieurs aux valeurs mentionnée sur l'étiquetage de cette marque :

- Une différence de moins (4,88 mg/l), pour les chlorures.
- Une différence de moins (1,52 mg/l), pour les nitrites.
- Une différence de moins (4,34 mg/l), pour calcium.
- Par contre, nos résultats sont légèrement supérieur, comparés aux valeurs de l'étiquetage, pour pH (plus 0,70 mg/l) et les nitrates (plus 0,99 mg/l), Les sulfates (plus 2,33 mg/l), les cations majeurs le Magnésium (plus 1,88 mg/l), potassium (plus 0,09 mg/l), sodium (plus 3,16 mg/l).

En façon générales, l'eau de source de Reghia présente une qualité chimique acceptable pour plusieurs ions majeurs.

2.2 Composition physicochimique

2.2.1 Sulfate (SO_4^{2-})

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant **(Fig. 28)** :

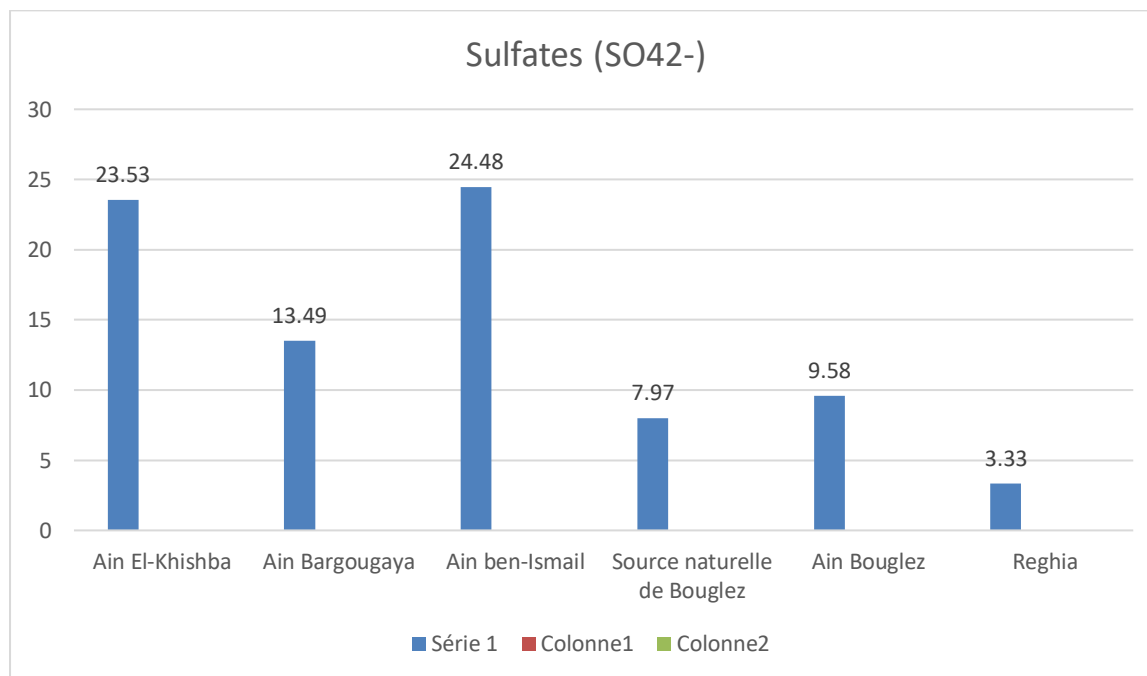


Figure 28 : Résultats de la teneur en sulfates
(Flidjane, 2026)

Les sulfates présents dans l'eau proviennent principalement de la dissolution de minéraux sulfatés, tels que le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), de l'oxydation des composés sulfurés contenus dans les roches, ainsi que de diverses sources anthropiques, notamment les détergents et les effluents d'origines animale. **(Ghazali, Zaid, 2013)**

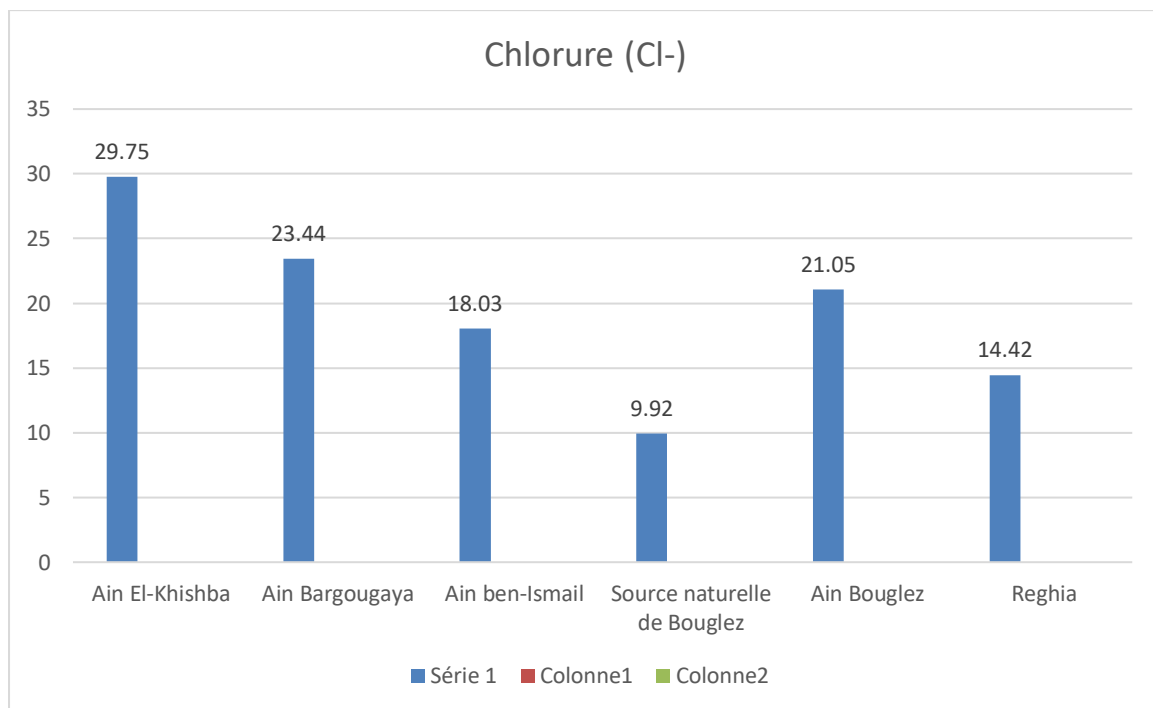
Les teneurs moyennes en sulfates mesurées dans l'eau analysées :

- Pour de source naturelle, sont respectivement de 24,48 mg/l pour (source Ain Ben-Ismail) à 7,97 mg/l (source naturelle de bouglez).
- Quant aux de source en bouteille, Les valeurs observé s'étendent de 9,58 mg/l (Ain bouglez) à 3,33 mg/l (Reghia).

D'après, les résultats obtenus sont largement à inférieure à la limite maximale fixée par réglementation algérienne **JORA (2015)** (max à 400 mg/l). Ainsi, les valeurs constante conforme la conformité générales des aux analysées aux normes algériennes.

2.2.2 Chlorures (Cl^-)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig. 29**) :



**Figure 29 : Résultats de la teneur en chlorure
(Flidjane, 2026)**

Les chlorures constituent des anions minéraux fréquemment rencontrés dans les eaux naturelles, principalement sous forme de sels dissous tels que le chlorure de sodium (NaCl) et le chlorures de potassium (KCl). Leur présence peut résulter aussi bien peut résulter de processus naturels ou anthropiques, notamment les rejets industriels et les usées domestiques. (**Makhoukh, 2011**)

Les teneurs moyennes en chlorures mesurées dans l'eau analysées :

- Pour de source naturelle, sont respectivement de 29,75mg/l pour (source AinEl-Khishba) à 9,92 mg/l (source naturelle de bouglez).
- Quant aux de source en bouteille, Les valeurs observé s'étendent de 21,05mg/l (Ain bouglez) à 14,42 mg/l (Reghia).

D'après, les résultats obtenus sont largement à inférieure à la limite maximale fixée par réglementation algérienne **JORA (2015)** (max à 500 mg/l). Ainsi, les valeurs constante conforme la conformité générales des aux analysées aux normes algériennes.

En façon générale, les résultats obtenus les tenures en chlorures entre l'eau source et peut être attribuée des principalement à la nature géologiques de terrains.

2.2.3 Nitrates (NO_3^-)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant **(Fig.30)** :

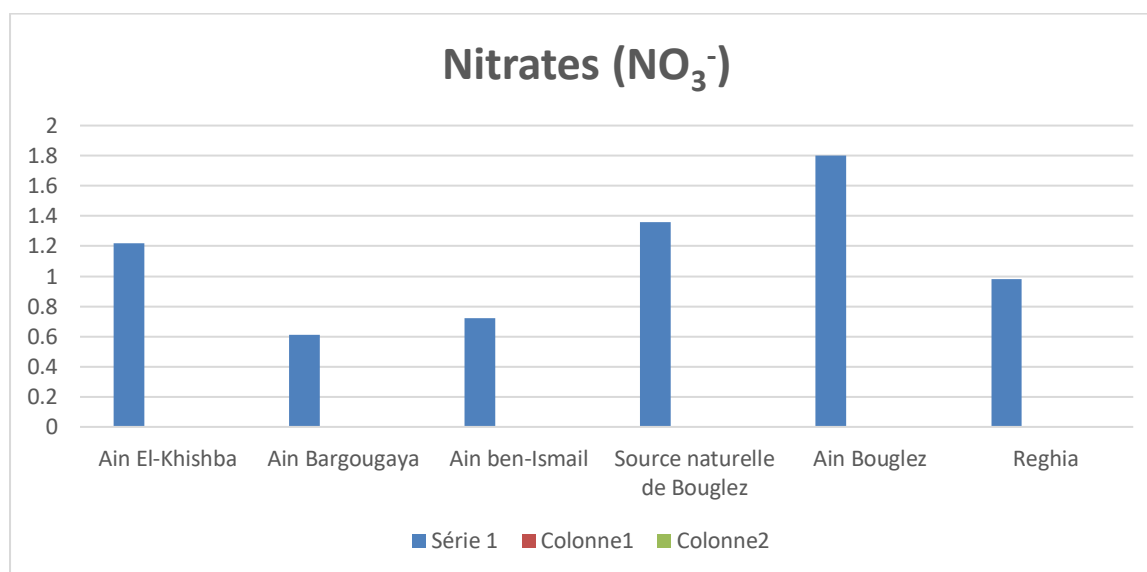


Figure 30: Résultats de la teneur en nitrates
(Flidjane, 2026)

Les nitrates constituent d'une des principales formes minérales de l'azote présentes dans les eaux naturelles. Leur origine est généralement liée à l'utilisation d'engrais azotés en agriculture, aux rejets d'eaux usées domestiques et industrielles, ainsi qu'à la dégradation des matières organiques azotées. Une concentration élevée en nitrates dans l'eau destinée à la consommation humaine (> 50 mg/L selon l'OMS), peut entraîner des risques sanitaires importants, notamment la méthémoglobinémie chez les nourrissons, communément appelée (syndrome du bébé bleu). **(OMS, 2017)**

Les résultats obtenus pour le teneur en nitrates montrent que :

- Pour les eaux de source naturelles, Les concentrations varient de 1,36 mg/l (source naturelle de bouglez) à 0,61 mg/l (source Ain bargougaya).

- Pour les eaux de source en bouteille, elles s'étendent de 1,80 mg/l (Ain bouglez) à 0,98 mg/l (Reghia).

Toutes les valeurs des teneurs en nitrates, sont largement très inférieure la limite maximale admissible fixée par la réglementation algérienne en vigueur (<50 mg/l selon **JORA, 2015**), ce qui indique conforme à la conformité des échantillons analysés vis-à-vis des normes de qualité applicables.

2.2.4 Nitrites (NO_2^-)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig. 31**) :

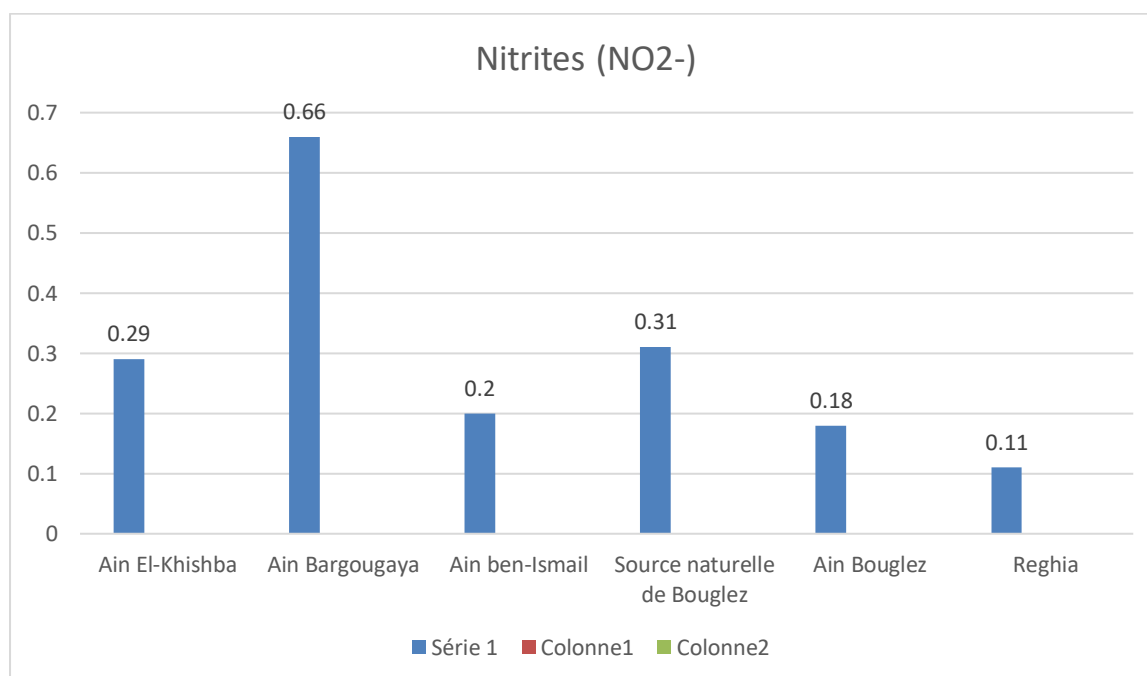


Figure 31 : Résultats de la teneur en nitrites
(Flidjane, 2026)

Les nitrites résultent principalement de la réduction biologique des nitrates par l'action de bactéries en conditions anaérobies. Leur présence dans l'eau est généralement transitoire, mais elle constitue un indicateur de pollution récente ou d'une nitrification incomplète. Les nitrites présentent une toxicité plus élevée que les nitrates, il est allèrent le transport de l'oxygène dans le sang et peuvent également contribuer à la formation de composés cancérigènes(Levallois et al, 2000).

Les résultats obtenus pour le teneur en nitrites montrent que :

- Pour les eaux de source naturelles, Les concentrations varient de 0,66 mg/l (source Ain brgougaya) à 0,20 mg/l (source ben-Ismail).
- Pour les eaux de source en bouteille, elles s'étendent de 0,18 mg/l (Ain bouglez) à 0,11 mg/l (Reghia).

Toutes les valeurs des teneurs en nitrites, sont largement dépasse la limite maximale admissible fixée par la réglementation algérienne en vigueur ($< 0,1$ mg/l selon **JORA, 2015**), ce qui indique non-conforme des échantillons analysés vis-à-vis des normes de qualité applicables.

2.2.5 Potassium (K^+)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig. 32**) :

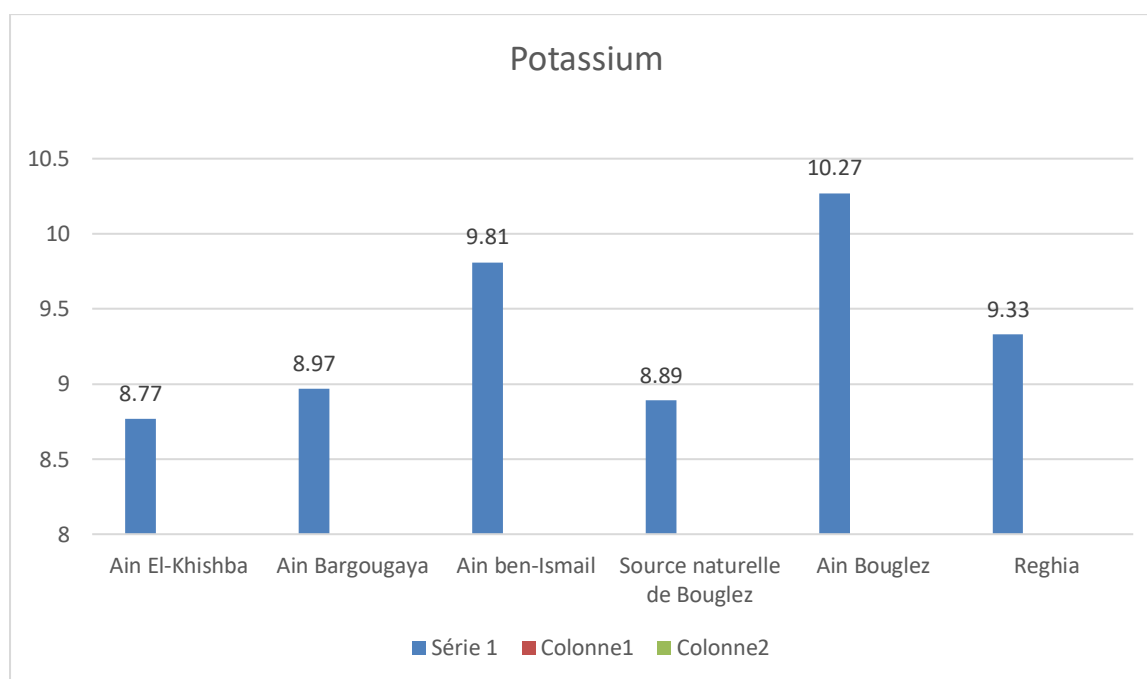


Figure 32 : Résultats de la teneur en potassium
(Flidjane, 2026)

Le potassium est un ion alcalin naturellement présent dans les ressources en eau, mais à des teneurs généralement inférieurs à celles de sodium. Dans les eaux naturelles, il est rarement observé à des concentrations supérieures à 20 mg/l.

D'après les résultats obtenus, il apparaît que :

- Pour les eaux de source naturelles, Les valeurs de potassium varient de 9,81 mg/l (source Ain ben-Ismail) à 8,77mg/l (source Ain El-Khishba).
- Pour les eaux de source en bouteille, elles s'étendent de 10,27mg/l (Ain bouglez) à 9,33mg/l (Reghia).

Toutes les valeurs des teneurs en potassium, sont largement inférieure à la limite maximale admissible fixée par la réglementation algérienne en vigueur (20 mg/l selon **JORA, 2015**), ce qui conforme la conformité des deux échantillons analysés vis-à-vis des normes de qualité applicables.

2.2.6 Sodium (Na^+)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig.33**) :

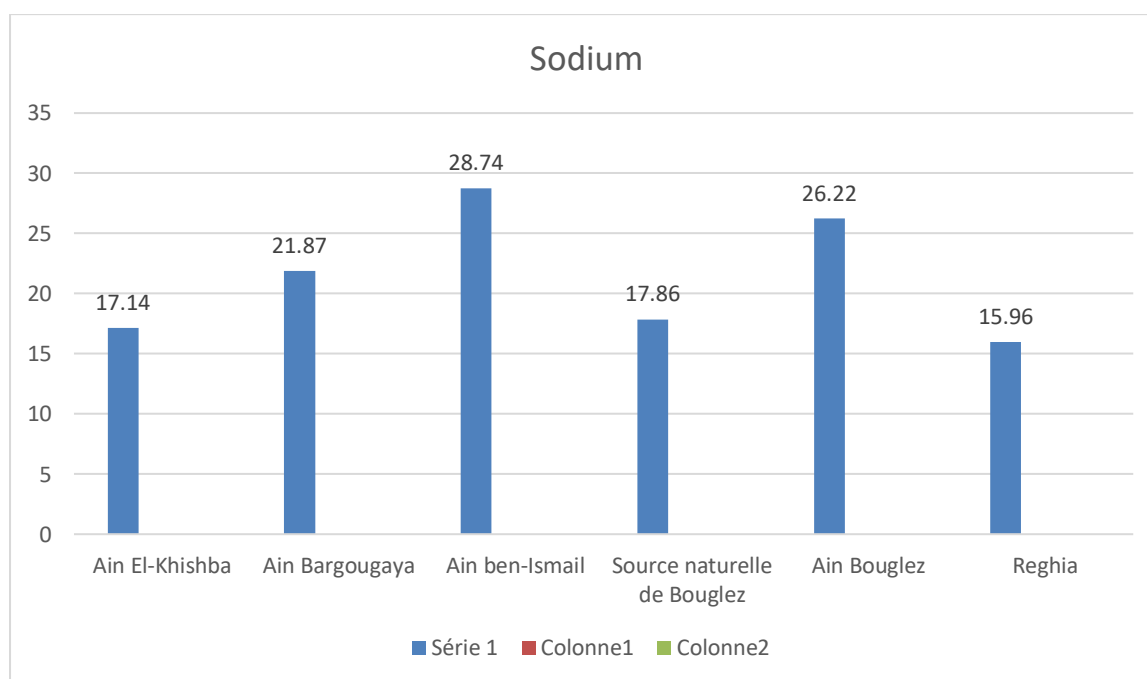


Figure 33 : Résultats de la teneur en sodium
(Flidjane, 2026)

Le sodium est un cation alcalin largement répand dans les milieux naturels, généralement présent sous forme d'ions libres Na^+ souvent associés aux chlorures. En raison de sa forte solubilité dans l'eau en fait un élément très mobile. Sa concentration demeure généralement faible dans les eaux brutes, mais sa teneur fortement varié selon l'origine de la ressource hydrique. (**Dupont et al. 2018**)

D'après les résultats obtenus, il ressort que :

- Pour les eaux de source naturelles, Les valeurs de sodium varient de 9,81 mg/l (source Ain ben-Ismail) à 8,77mg/l (source Ain El-Khishba).
- Pour les eaux de source en bouteille, elles s'étendent de 10,27mg/l (Ain bouglez) à 9,33mg/l (Reghia).

L'ensemble des valeurs mesurées des teneurs en sodium, se suit largement en dessous de la limite maximale admissible fixée par la réglementation algérienne en vigueur (maximum 200 mg/l selon **JORA, 2015**), ce qui atteste de la conformité des deux échantillons analysés aux normes de qualité applicables.

2.2.7 Calcium (Ca^{2+})

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig.34**) :

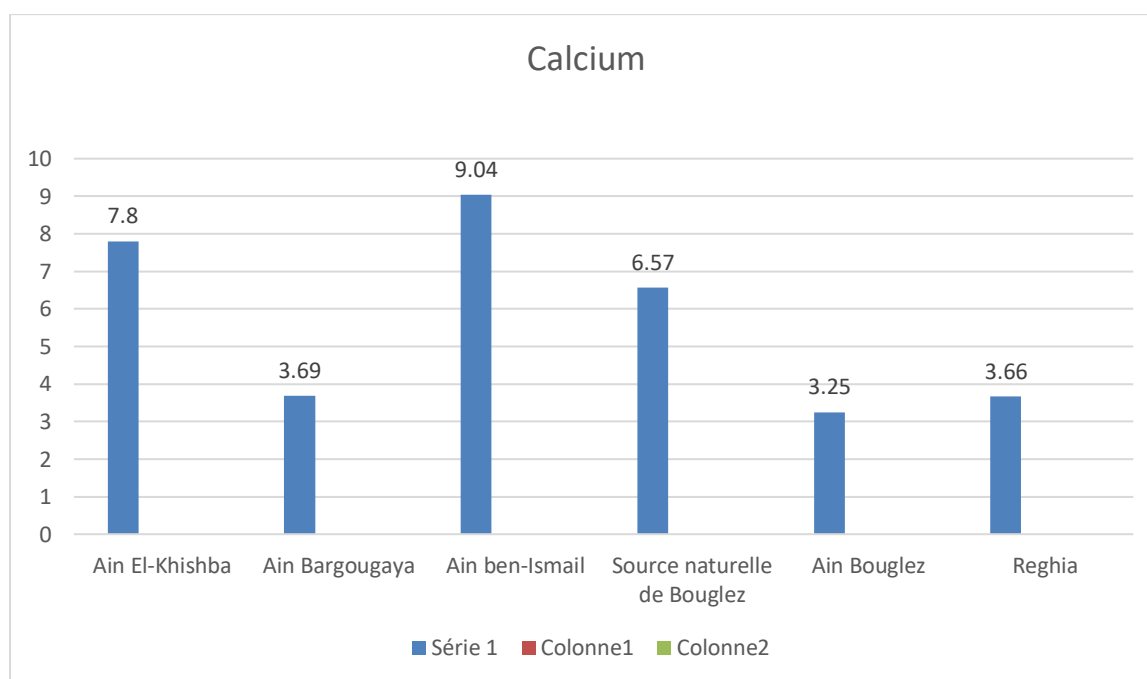


Figure 34 : Résultats de la teneur en calcium
(Flidjane, 2026)

Le calcium est un ion alcalino-terreux naturellement abondant dans les formations géologiques, notamment sous forme de carbonates au sein des roches calcaires. Il représente l'un des principaux responsables de la dureté de l'eau et se trouve principalement sous forme hydrogénocarbonates, tandis que les sulfates ou chlorures en moindres proportions. (**Rodier, 2005**)

Les résultats obtenus montrent que la concentration moyenne en calcium dans les deux types d'eaux :

- Pour les eaux de source naturelles, les teneurs enregistrées varient entre 9,04 mg/l (source Ain ben-Ismail), et 3,69 mg/l (source Ain bargougaya).
- Concernant les eaux source en bouteille, les concentrations s'échelonnent de 3,66 mg/l (Reghia) à 3,25 mg/l (Ain bouglez).

Selon la réglementation algérienne en vigueur (**JORA, 2015**), la limite maximale admissible en calcium est fixée à 200 mg/l. Ainsi, l'ensemble des valeurs mesurées demeure nettement intérieur à ce seuil réglementaire, attestant de la conformité des échantillons analysés aux normes nationales de qualité.

2.2.8 Magnésium (Mg^{+2})

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig.35**) :

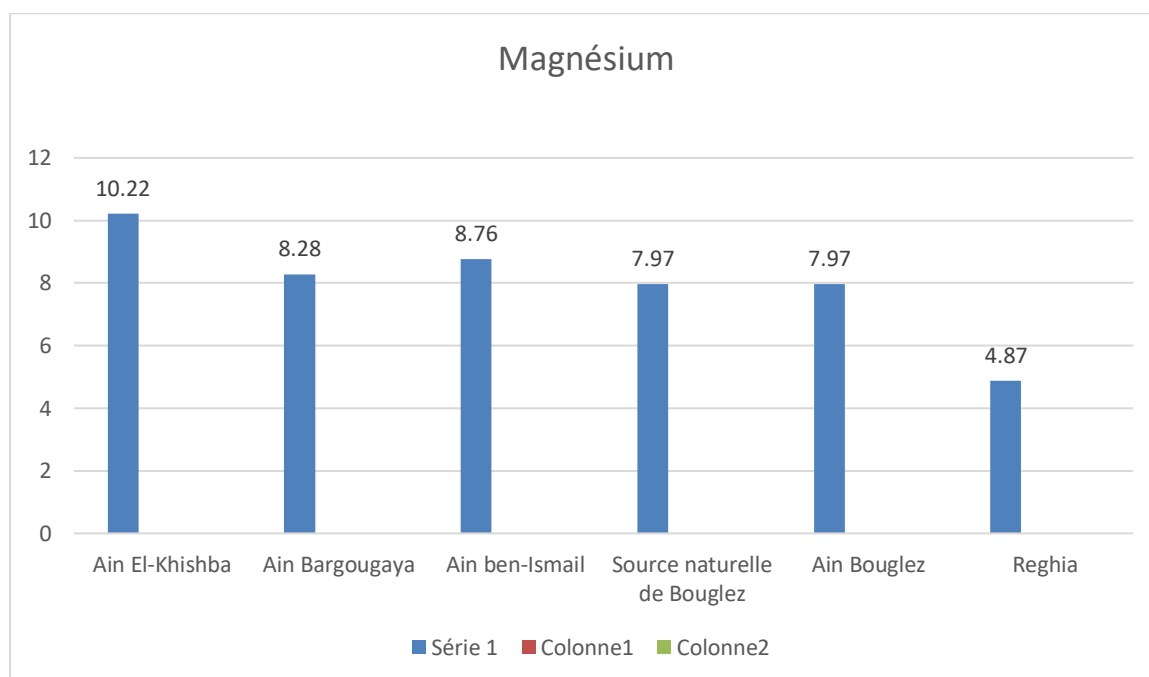


Figure 35: Résultats de la teneur en magnésium
(Flidjane, 2026)

Le magnésium constitue également un élément majeur intervenant dans la dureté de l'eau. Il provient essentiellement de la dissolution des minéraux contenus dans les roches sédimentaires, et sa concentration dépend étroitement de la nature géologique du milieu traversé. (**Nouayti et al. 2015 ; Ayad et al. 2016**)

D'après nos résultats :

- Pour les eaux de source naturelles, les teneurs enregistrées varient entre 10,22 mg/l (source AinEl-Khishba), à 7,76 mg/l (source Ain ben-Ismaïl).
- Alors les eaux source en bouteille, les concentrations s'échelonnent de 7,97 mg/l (Ain bouglez), à 4,87 mg/l (Reghia).

Selon la réglementation algérienne en vigueur (**JORA, 2015**), sont largement inférieur à la limite maximale une teneur de magnésium est fixée à 150 mg/l. on constate que ces valeurs mesurées sont conforme de la conformité des échantillons analysés aux normes nationales de qualité.

En façon générale, cette caractéristique permet de considérer l'eau de source étudiée comme une eau relativement riche en magnésium, pouvant être qualifiée d'eau magnésienne.

2.2.9 Conductivité

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig. 36**) :

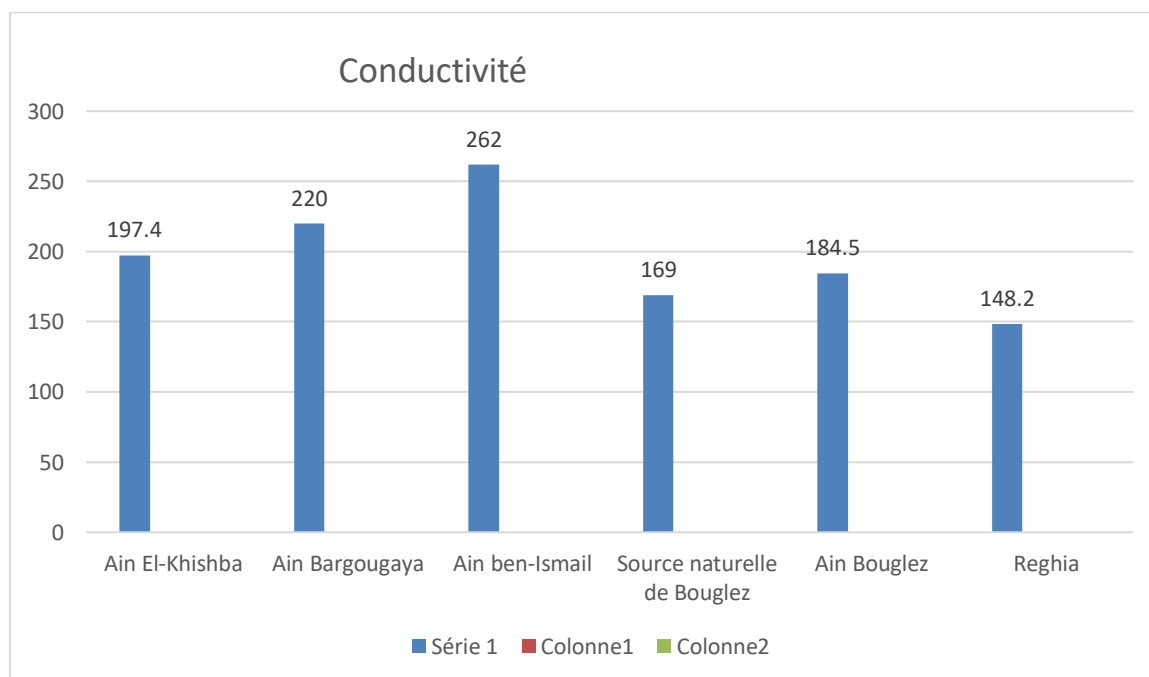


Figure 36 : Résultats de la teneur en conductivité

(Flidjane, 2026)

La conductivité est reliée à la concentration d'ions capables de conduire le courant électriques, elle permet la mesure de la quantité d'ions dissous dans solvant elle est plus importante lorsque la température augmente.

D'après ces résultats, Les moyennes relatives de la conductivité

Pour l'eau de source naturelle étudiée, les valeurs de la conductivité varient de 262 $\mu\text{s/cm}$ (source Ain ben-Ismaïl), à 169,6 $\mu\text{s/cm}$ (source de bouglez).

- Pour l'eau de source en bouteille analysées, les valeurs de la conductivité s'échelonnent de 184,5 $\mu\text{s/cm}$ (Ain bouglez), alors 148,2 $\mu\text{s/cm}$ (Reghia).
- Par ailleurs, la comparaison des teneurs obtenus de la conductivité des types de l'eau analysées, ce qui est largement inférieure à la limite maximale fixée par les normes algériennes (**JORA 2006**)(max à 2800 $\mu\text{s/cm}$). Ces valeurs sont conformes à la réglementation algérienne.

Cependant, cette eau dans la région el-tarf est considéré comme une eau de bonne qualité et sa minéralisation est importante.

2.2.10 potentiel hydrogène (pH)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig.37**) :

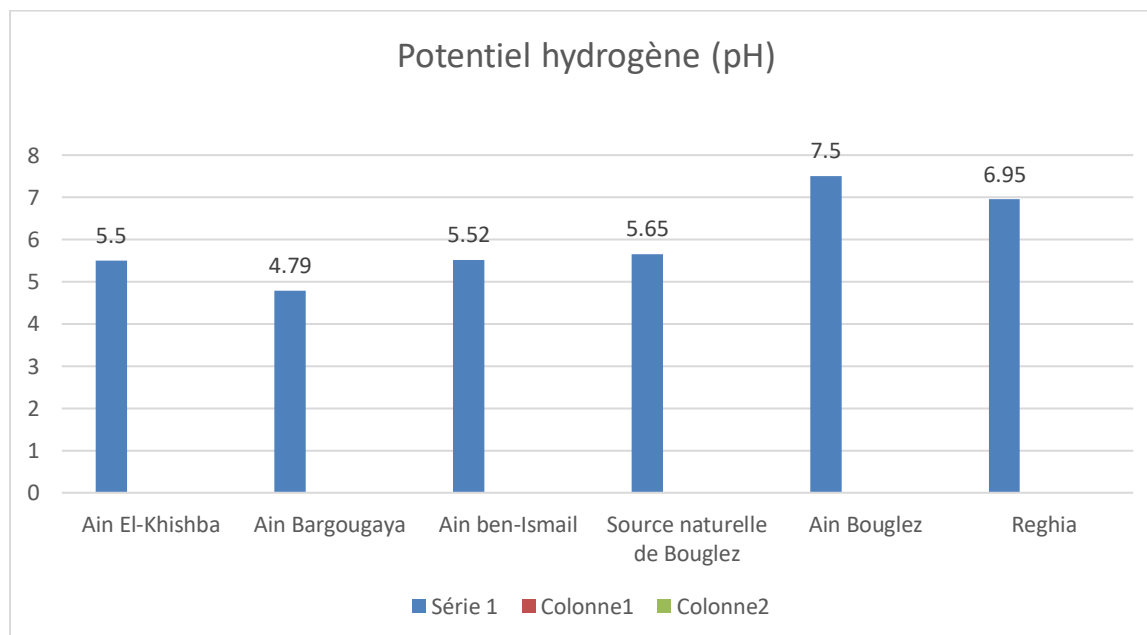


Figure 37: Résultats de la teneur en potentiel hydrogéné (pH)
(Flidjane, 2026)

L'eau acide distribuée par un réseau de canalisations peut constituer, de manière indirecte, un risque pour la santé du consommateur, notamment en favorisant la corrosion des conduites et la dissolution de certains métaux. Selon la réglementation nationale et les recommandations internationales relatives à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, le pH admissible doit être compris entre **6,5-8,5 (JORA, 2006)** et **6,5-9,5 (OMS, 2006)**.

La comparaison des résultats obtenus pour les échantillons d'eau prélevés dans la région d'étude de la wilaya d'El-tarf montre que :

- Pour les valeurs de pH mesuré d'eau de source naturelle, varient entre 5,65 (source de bouglez), et 4,79 (source Ain bargougaya). Traduisant ainsi un caractère acide et non-conforme vis-à-vis de la limite maximale fixée de recommandes aux normes algérienne **(JORA, 2006)**.
- En revanche, pour l'eau de source en bouteille, affichent des valeurs comprises entre 7,50 (Ain bouglez), à 6,95 (Reghia). Donc les valeurs considérées conformes à la conformité aux normes à la réglementation algérienne **(JORA, 2006)**.

De façon générale, l'acidité observée dans les eaux de source naturelle peut être liée à plusieurs facteurs, notamment la nature géologique des sols traversés, la dissolution du dioxyde de carbone atmosphérique formant de l'acide carbonique, la faible minéralisation de l'eau ou encore la présence de matière organique.

A l'inverse, les eaux de source en bouteille présentent de la valeur de pH équilibrée, ce qui peut être expliqué par un traitement préalable, une meilleure minéralisation ou un contrôle rigoureux lors du conditionnement.

2.2.11 Titre hydrométrie (TH)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant **(Fig. 38)** :

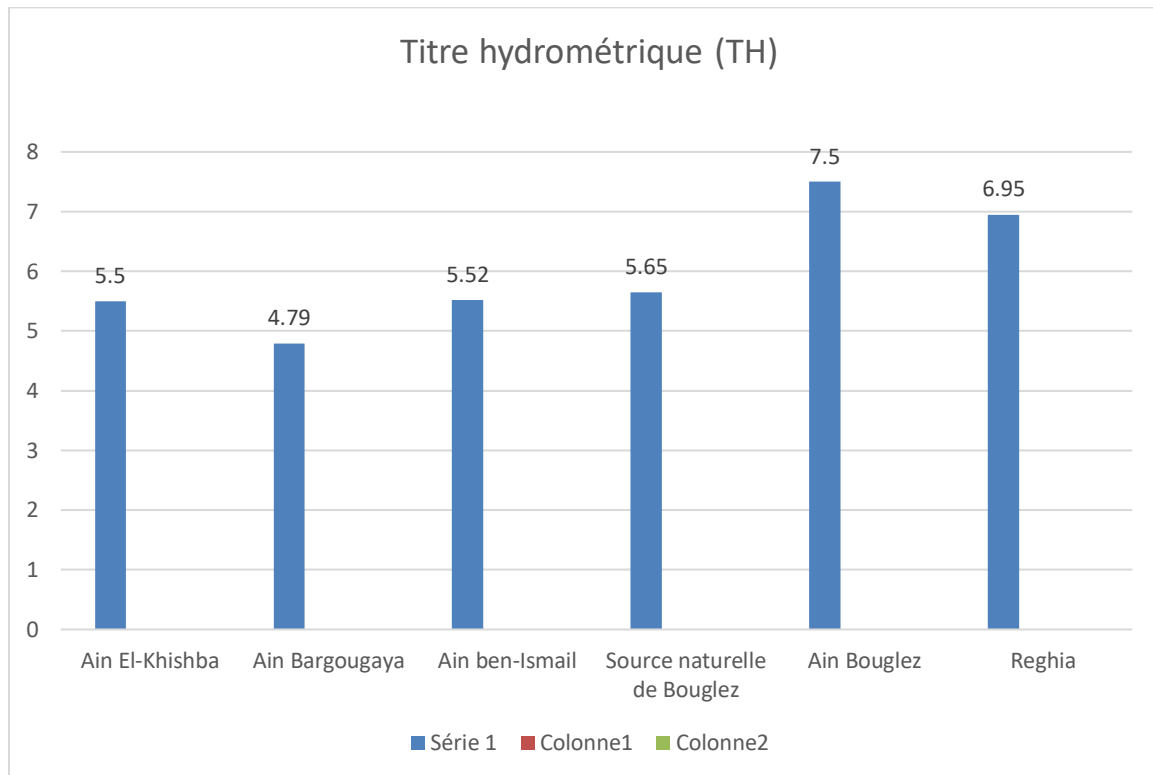


Figure 38 : Résultats de la teneur en titre hydrométrique (TH)
(Flidjane, 2026)

La dureté totale de l'eau, ou titre hydrométrique été déterminée par la somme des concentrations en ions Ca^{+2} et Mg^{+2} , des cations divalents caractéristiques des milieux carbonates.

Les valeurs du titre hydrométrique obtenu pour les différents échantillons d'eaux comme suit :

- Pour l'eau source naturelle, les valeurs de TH varient de 41 °F (source Ain El-Khishba et Source de Ain ben-Ismaïl) et 26,55 °F (source Ain bargougaya). Cela indique que l'eau de source sont plus minéralisées et plus riche en ions calcium et magnésium.
- Pour les eaux de source en bouteille, Les valeurs de TH s'échelonnent de 24,60 °F (Ain bouglez) à 19,48 °F (Reghia).

Selon le **(JORA, 2006)**, l'ensemble de ces résultats montrent que toutes les eaux analysées sont caractérisées par une dureté moyenne et très élevée à la limite maximale fixée par la réglementation algérienne, qui définit un intervalle compris entre (100-500 mg/l).

2.2.12 Titre alcalimétrique complet (TAC)

Les résultats de l'étude sont représentés graphiquement par histogramme suivant (**Fig. 39**) :

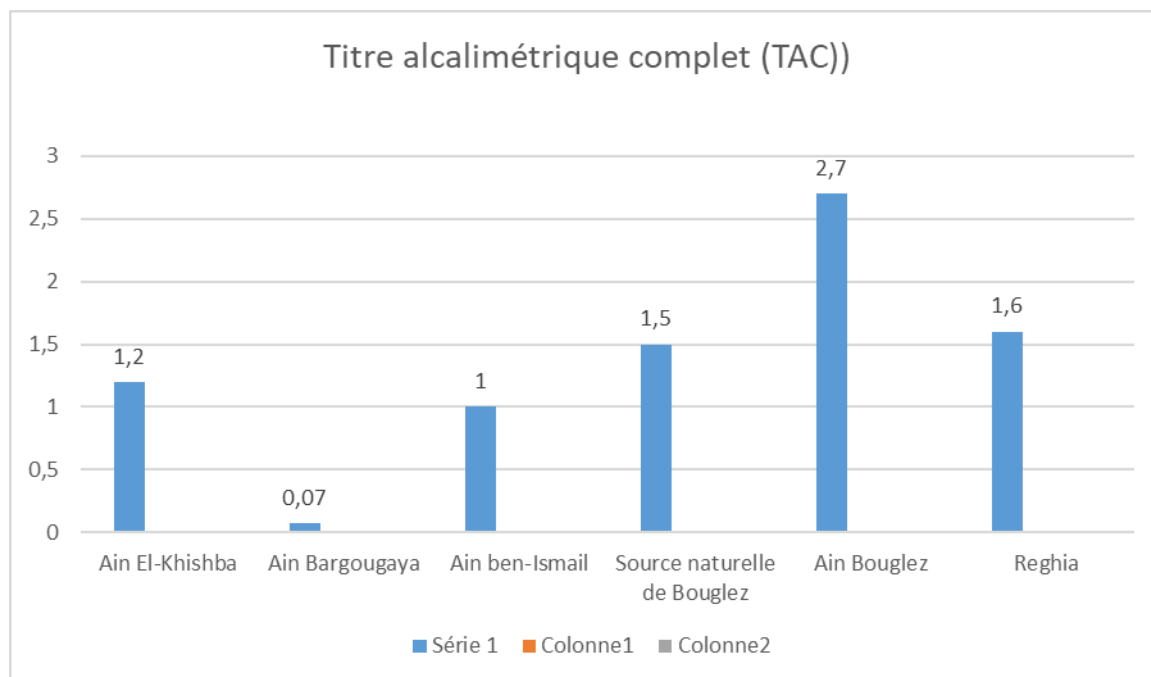


Figure 39 : Résultats de la teneur en titre alcalimétrique complet (TAC)

(Flidjane, 2026)

Le titre alcalimétrique complet, correspond à la mesure de la totalité des anions basiques présente dans l'eau à savoir de ions (OH^-), carbonate et hydroxydes (HCO_3^-). Il traduit donc la capacité de l'eau à neutraliser les acides et constitue un indicateur important de l'équilibre acido-basique et de la minéralisation de l'eau.

- Les résultats du TAC obtenus pour les différents échantillons sont les suivants :
- Pour les eaux de source naturelle, les teneurs moyennent varient de 1,5 mg/l (source de bouglez) et 0,07 mg/l (source Ain bargougaya).
- Pour les eaux de source en bouteille, les valeurs s'entendent de 2,70 mg/l (Ain bouglez) à 1,60 mg/l (Reghia).

Pour ce paramètre, il n'existe pas de valeur limite stricte du TAC dans les normes de potabilité par la réglementation algérienne. Cette absence de seuil normatif implique qu'aucune exigence réglementaire obligatoire n'est actuellement établie, ce qui conduit à considérer ce paramètre uniquement dans une proche descriptive et comparative sans possibilité d'évaluation de conformité réglementaire.

De façon générale, les résultats obtenus montrent que l'ensemble des échantillons analysés présente une alcalinité faible à modérée, traduisant une capacité tampon globalement satisfaisante. Les variations observées entre les échantillons sont probablement liées à la nature géologique des terrains traversés ainsi qu'aux caractéristiques physicochimiques propres à chaque ressource hydrique.

2.2.13 Titre alcalimétrique (TA)

Les résultats obtenus montrent un titre alcalimétrique nul ($TA=0$), pour l'ensemble des échantillons des types d'eaux étudiés en raison d'un pH inférieur à 8,3. A ce niveau de pH, la présence de carbonate CO_3^{2-} et inexistante dans les eaux analysées, ce qui est conforme à la législation en vigueur.

2.3 Classification des eaux analysées

Suite aux résultats des analyses des paramètres physicochimiques réalisées, on a tenté d'établir une classification des eaux de source naturelle et des eaux source en bouteille sélectionnées, pour notre étude.

Cette classification est réalisée :

- Sur la base de la composition ionique, en fonction des teneurs en cations (K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2}) et teneur en anions (Cl^- , SO_4^{-2}). **(Arrêts 14 mars 2007)**
- Sur la base du titre hydrométrique (TH, ou dureté). **(Berne et al, 1991)**

2.3.1 Classification selon composition ionique

Les résultats obtenus montrent ce qui suit :

- **L'eau chlorurée ($Cl^- > 200 \text{ mg/l}$)**

Toutes les sources d'eaux naturelle est eaux source embouteille analysées, ne peut être classé comme eaux chlorurées dans la mesure où les concentrations en ions chlorure mesurées demeurent inférieures au seuil de 200 mg/l.

- **L'eau sulfatée ($SO_4^{-2} > 200 \text{ mg/l}$)**

L'ensemble des résultats analysés obtenus montre que les eaux de source conditionnées étudiées ne présentent pas un caractère sulfates mesurées demeurant nettement inférieures au seuil de 200 mg/l, valeur généralement retenue pour la classification des eaux sulfatées.

- **L'eau calcique ($\text{Ca}^{+2} > 150 \text{ mg/l}$)**

Les résultats des analyses montrent qu'aucun des six échantillons d'eau étudiés ne peut être classé comme eau calcique, leurs teneurs en calcium étant toutes inférieures au seuil de 150 mg/l, caractérisant ce type d'eau.

- **L'eau sodique ($\text{Na}^+ > 200 \text{ mg/l}$)**

Tous les résultats obtenus, aucune des six eaux analysées ne peut être classé comme eau sodique, leurs concentrations en ions (Na^+) demeurant inférieures au seuil de 200 mg/l, généralement retenu pour caractériser ce type d'eaux.

- **L'eau faiblement sodique ($\text{Na}^+ < 20 \text{ mg/l}$)**

Les résultats des analyses ont mis en évidence que deux sources d'eau naturelles et une eau en bouteille, parmi l'ensemble des échantillons étudiés présentent une faible teneur en sodium. Ces eaux sont ainsi classées dans les catégories des eaux faiblement sodiques :

Des eaux de sources naturelles : Source Ain El-Khishba (17,14 mg/l), Source naturelle de bouglez (17,86 mg/l).

Des eaux de source en bouteilles : Reghia (15,96 mg/l).

- **L'eau magnésienne ($\text{Mg}^{+2} > 50 \text{ mg/l}$)**

Les résultats des analyses montrent qu'aucun des six échantillons d'eau étudiés ne peut être classé comme eau magnésienne, leurs teneurs en magnésienne étant toutes inférieures au seuil de 50 mg/l.

2.3.2 Classification selon titre hydrométrique (TH) ou dureté

Sur la base de ce critère, les résultats nous ont permis de répartir les six (06) sources d'eaux en les classes suivantes :

Tableau 12 : Classification selon titre hydrométrique (TH) ou dureté

Source (Berne et al, 1991)

Classes	TH (dureté) (°F)	Les sources d'eaux analysées
Eau très douce	0 à 6	–
Eau douce	6 à 15	–
Eau moyennement dure	15 à 30	Source Ain bargougaya, Boughez, Reghia
Eau dure	< 30 plus	Source Ain El-Khishba, Source Ain ben-Ismail, Source naturelle de bouglez

CONCLUSION

Conclusion

Au terme de nature travail qui 'a été réalisé au niveau du laboratoire de contrôle de qualité du complexe Fertial, et qui s'est axé sur l'étude de la qualité physicochimique des eaux de source en point d'approvisionnement pour la population de la wilaya de el tarf est des eaux embouteillées vendues dans la wilaya, au peut déduire les points suivants :

- Les analyses physicochimiques réalisées ont ciblé les dosages des paramètres suivants : pH, conductivité, TH, TA, TAC, chlorures, sulfates, nitrates, nitrites, sodium, potassium, calcium, magnésium. Les résultats des analyses des paramètres physicochimiques de ces eaux de sources ont démontré que ces derniers sont conformes aux spécifications des normes algériennes relatives aux eaux de source (JORA, 2006), (JORA, 2015).
- La comparaison entre l'eau de source Ain Bouglez embouteillée et celle prélevée au point d'approvisionnement montré certes de petites différences entre les paramètres, mais leur qualité physicochimique reste très élevée, démontrant sa stabilité.

Pour conclure, il est de notre devoir d'informer que cette étude a été menée, dans des conditions exceptionnelles, puisqu'on a découvert, bien après que certains réactifs utilisés, au niveau du laboratoire où on a effectué notre étude avaient la date d'expirations (Annexe 4).

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Référence Bibliographique

A

Achour, S., Tibermacine, A., & Chabbi, F. (2017). Le fer et le manganèse dans les eaux naturelles et procédés d'oxydation chimique : cas des eaux algériennes. *Larhyss Journal*, 32, 139-154.

AFNOR. (2001). *Qualité de l'eau : recueil des normes françaises*. Paris : Association Française de Normalisation.

Anonyme. (2001). Titre de l'ouvrage ou du document. Lieu d'édition : Maison d'édition.

Anonyme. (2005). Étude du schéma directeur de l'alimentation en eau potable de la ville de Biskra : notice explicative phase mission A. Entreprise nationale de projets hydrauliques de l'Est.

Armand, L. (1996). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduelles et eaux de mer* (8^e éd.). Paris : Dunod.

Avensac, M. (2018). *Le magnésium dans la prise en charge du stress à l'officine* (Thèse de doctorat). Université Toulouse III Paul Sabatier, Faculté des sciences pharmaceutiques.

Ayda. (2016). Évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouch (wilaya de Skikda) (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar-Annaba.

B

Beaulieu, P. (2019). *L'eau potable : sa définition, ses origines, ses critères de potabilité et ses traitements*. Centre d'information sur l'eau.

Belghiti, M., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R. (2013). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès. *Biologie*, 14, 1112-3680.

Berdal, A. (2021). *Analyse physico-chimiques et microbiologique de l'eau minérale naturelle embouteillées (texanna) et comparaison avec des eaux de source de la région de Jijel*. Mémoire de master, université chadli Benjedid el-Tarf.

Référence Bibliographique

Berne, F., & Cordonnier, J. (1991). Traitement des eaux. Paris : École nationale supérieure du pétrole et des moteurs.

Bolym, A. (2014). Titre de l'ouvrage. Lieu d'édition : Éditeur.

Bontoux, J. (1993). Introduction à l'étude des eaux douces : qualité et santé des eaux.

Bourgeois, C. M., Mescle, J. F., & Zucca, J. (1991). Microbiologie alimentaire : aspects microbiologiques de la sécurité et de la qualité des aliments (Tome 1). Paris : Lavoisier, Tec & Doc.

Bouziani, M. (2000). L'eau : de la pénurie aux maladies. Alger : Éditions Ibn-Khaldoun.

C

Centre d'information sur l'eau (C.I.Eau). (2004). Guide des ressources sur le thème de l'eau : document pédagogique sur l'eau potable.

Chlorure. (1979). En ligne : <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy>.

Constant, F., & Hawili, N. (2011). Les eaux embouteillées. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 46(1), 40-50.

Chouaf, N.Munjovo, G.M. (2022). Analyse de la qualité de l'eau potable distribuée à Guelma. Mémoire de master, Université 08Mai1945Guelma. P08

D

Degrèment. (1984). Mémoire technique de l'eau. Edition : technique et documentation. Mémoire de master, université Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi. Bordj Bou Arréridj.

Dehove, B. A. (1990). Réglementation des produits, qualité et répression des fraudes (Tome 2, Division 5 : boissons).

Derever J. I et al. (1997). The Geochemistry of Natural Waters (3rd ed.). Prentice Hall.

Duguet, J. P., Bernazeau, F., Cleret, D. A., Helmer, C., & Laplanche, A. (2006). La réglementation et les traitements des eaux destinées à la consommation humaine (1re éd.). Paris : ASTEE.

Référence Bibliographique

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

F

Food and Agriculture Organization. (2011). The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW). Rome, Italy: FAO.

Fur, M. (2004). Le contrôle de la qualité des eaux naturelles conditionnées. France.

G

Gasmi, H. (2011). Contribution à l'étude de la qualité bactériologique de l'eau d'abreuvement du poulet de chair prélevée dans les wilayas d'El Tarf et Souk Ahras.

Ghazali, D., & Zaid, A. (2013). Étude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Meknès, Maroc). Larhyss Journal, 10(1), 25-36.

Graindorge, M. (2015). La qualité de l'eau : évaluation et surveillance. Paris : Tec & Doc.

Guerzou, F. (2008). Étude de la potabilité des eaux souterraines de la région de Djelfa : aspect physico-chimique (Mémoire d'ingénieur d'État).

Guentri, S., & Rahmania, F. (2015). Contribution à la connaissance de la remontée et de la pollution des eaux. Éditions universitaires européennes.

H

Hamed, M., Guettache, A., & Bouamer, L. (2012). Étude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Djorf-Torba Béchar. Université de Béchar.

Haslay, C., & Leclerc, H. (1993). Microbiologie des eaux d'alimentation. Paris : Tec & Doc, Lavoisier.

Hubert, J., Hubert, C., Jungers, P., Daundo, M., & Hartemann, P. (2002). Eaux de boisson et lithiase calcique urinaire idiopathique : quelles eaux de boisson et quelle cure de diurèse ?, 12, 692-699.

Référence Bibliographique

I

ISO 6059. (1984). Qualité de l'eau : détermination de la somme du calcium et du magnésium – méthode titrimétrique à l'EDTA.

ISO 7890. (1986). Qualité de l'eau : dosage des nitrates – méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.

ISO11265. (1995). Soil quality – Determination of specific electrical conductivity.

ISO 5667. (2002). Qualité de l'eau : échantillonnage.

ISO 7899-2. (2002). Qualité de l'eau : recherche et dénombrement des entérocoques intestinaux – partie 2 : méthode par filtration sur membrane.

ISO 5667. (2004). Qualité de l'eau : échantillonnage.

ISO 6777 NA 1957. Dosage des nitrites : méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire.

ISO 9297 NA 6917. Qualité de l'eau : dosage des chlorures-méthode de Mohr.

J

Journal Officiel de la République Algérienne. (2004). Décret exécutif n°04-196 du 26 Joumada El Oula 1425, correspondant au 15 juillet 2004, relatif à l'exploitation et la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source. Journal Officiel de la République Algérienne n°45 du 18 juillet 2004, p8-16.

Journal Officiel de la République Algérienne. (2014). Décret exécutif n°13 du 7 Joumada El Oula 1435, correspondant au 09 mars 2014.

Journal Officiel de la République Algérienne. (2015). Décret exécutif n°03 du 6 Rabie Ethani 1436, correspondant au 27 janvier 2015.

L

Larousse. (2002). Dictionnaire Larousse. Paris : Larousse.

Legube, B., Merlet, N., & Rodier, J. (2009). L'analyse de l'eau (9e éd.). Paris : Dunod.

Les nitrates. (2007). Observatoire régional de la santé Rhône-Alpes.

Référence Bibliographique

Levallois, P., et al. (2000). Risques sanitaires liés aux nitrites dans l'eau potable. Montréal : Institut national de santé publique du Québec.

M

Makhoukh, M., Sbaa, M., Berraho, A., & Van Closter, M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). Larhyss Journal, 9, 149-169.

N

Nouayti, N., Khattach, D., & Hilal, M. (2015). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes jurassiques du haut bassin de Ziz. Journal of Materials and Environmental Science, 1068-1081.

O

Organisation mondiale de la Santé (OMS) (1998). Directives de qualité pour l'eau de boisson (Vol. 3).

Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2013). Traitement de l'eau de boisson au point d'utilisation dans les situations d'urgence.

Organisation mondiale de la Santé (OMS)(2017). Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed.).

Oudahmane, T., & Hamdi, F. (2003). Élimination de la pollution azotée et phosphatée par un procédé mixte.

P

Potelon, J. L., & Zysman, K. (1998). Le guide des analyses de l'eau potable. Voiron : La Lettre du Cadre Territorial.

R

Ramade, F. (1998). Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau. Paris : Edisciences International.

Rambaud, J. C. (1992). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer. Paris : Dunod.

Référence Bibliographique

Rejsek, F. (2001). Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.

Rejsek, F. (2002). Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine.

Rodier, J. (1984). Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer (7e éd.). Paris : Dunod.

Rodier, J. (1997). Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer (8e éd.). Paris : Dunod.

Rodier, J. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eau de mer (8e éd.). Paris : Dunod.

Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer (9e éd.). Paris : Dunod.

S

Samake, H. (2002). Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bamako (Mémoire de thèse). Université de Bamako.

Santé Canada. (2008). Document de conseils sur le potassium provenant des adoucisseurs d'eau. Ottawa : Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs.

Sari, H. (2014). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source Attar (Tlemcen). Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen.

Savary, P. (2010). Guide des analyses de la qualité de l'eau. Voiron : Territorial.

Sekiou, F., & Kellil, A. (2014). Caractérisation et classification empirique, graphique et statistique multivariable d'eaux de source embouteillées de l'Algérie. Larhyss Journal, 20, 225-246.

Si Abderrahmane, O. (2016). Contribution à l'évaluation du système management qualité et des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et organoleptiques des eaux des stations de traitement Taksebt et Boudouaou (Thèse de doctorat). Université Mouloud Mammeri.

Référence Bibliographique

Sulfate. (1987). En ligne : <https://www.canada.ca/content/dam/canada/health-canada/migration/healthy>.

T

Thomas, F. B. (2014). Les vertus des eaux minérales. Nutrition.

W

Weiner& Matheut. (2003).

World Health Organization (WHO) (2017). Guidelines for drinking-water quality (4th ed.).

ANNEXE

27 Rabie El Aouel 1427 26 avril 2006 JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 27 11		
ANNEXE II		
CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EAUX DE SOURCE		
CARACTERISTIQUES	UNITE	CONCENTRATIONS
1. - Caractéristiques organoleptiques :		
Couleur	Mg/l de platine (en référence à l'échelle platine/cobalt)	au maximum 25
Odeur (seuil de perception à 25° C)	—	au maximum 4
Saveur (seuil de perception à 25° C)	—	au maximum 4
Turbidité	Unité JACKSON	au minimum 2
2. - Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau		
PH	Unité PH	6,5 à 8,5
Conductivité (à 20° C)	µs/cm	au maximum 2.800
Dureté	Mg/l de Ca CO ₃	100 à 500
Chlorures	Mg/l (Cl)	200 à 500
Sulfates	Mg/l (SO ₄)	200 à 400
Calcium	Mg/l (Ca)	75 à 200
Magnésium	Mg/l (Mg)	150
Sodium	Mg/l (Na)	200
Potassium	Mg/l (K)	20
Aluminium total	Mg/l	0,2
Oxydabilité au permanganate de potassium	Mg/l en oxygène	au maximum 3
Résidus secs après dessiccation à 180° C	mg/l	1.500 à 2.000
3. - Caractéristiques concernant les substances indésirables		
Nitrates	Mg/l de NO ₃	au maximum 50
Nitrites	Mg/l de NO ₂	au maximum 0,1
Ammonium	Mg/l de NH ₄	au maximum 0,5
Azote Kjeldahl	Mg/l en N ⁽¹⁾	au maximum 1
Fluor	Mg/l de F	0,2 à 2
Hydrogène sulfuré		Ne doit pas être décelable organoleptiquement
Fer	Mg/l (Fe)	au maximum 0,3
Manganèse	Mg/l (Mn)	au maximum 0,5
Cuivre	Mg/l (Cu)	au maximum 1,5
Zinc	Mg/l (Zn)	au maximum 5
Argent	Mg/l (Ag)	au maximum 0,05
4. - Caractéristiques concernant les substances toxiques		
Arsenic	Mg/l (As)	0,05
Cadmium	Mg/l (Cd)	0,01
Cyanure	Mg/l (Cn)	0,05
Chrome total	Mg/l (Cr)	0,05
Mercuré	Mg/l (Hg)	0,001
Plomb	Mg/l (Pb)	0,055
Sélénium	Mg/l (Se)	0,01
Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) :		
* Pour le total des 6 substances suivantes :	µ g/l	0,2
Fluoranthène,		
Benzo (3,4) fluoranthène		
Benzo (1,12) fluoranthène		
Benzo ((3,4) pyrène		
Benzo (1,12) pérylène		
indeno (1,2,3 – cd) pyrène		
* Benzo (3,4) pyrène	µ g/l	0,01

(1) N de NO₃ et NO₂ exclus.

Art. 5. — Le présent arrêté sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 29 Dhou El Hidja 1435 correspondant au 23 octobre 2014.

Le ministre des ressources en eau Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière

Hocine NECIB

Abdelmalek BOUDIAF

Le ministre
du commerce

Le ministre de l'industrie
et des mines

Amara BENYOUNES

Abdesselem BOUCHOUAREB

ANNEXE I

CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EAUX MINERALES NATURELLES

I- La concentration des substances énumérées ci-dessous, ne doit pas dépasser les taux ci-après :

— (sans changement)..... ;

— Arsenic 0,01mg/l exprimé en As total ;

— Baryum 0,7mg/l ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— Manganèse 0,4mg/l ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— Nitrites 0,1mg/l en tant que nitrite ;

— Sélénium 0,01mg/l.

II- les contaminants suivants ne doivent pas être présents en concentration supérieure à la limite de détection des quantifications des méthodes d'analyse officielles ou reconnues à l'échelle internationale utilisées pour leur analyse :

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

ANNEXE II

CARACTERISTIQUES DE QUALITE DES EAUX DE SOURCE

CARACTERISTIQUES — UNITE — CONCENTRATIONS

1- Caractéristiques organoleptiques :

— (sans changement)..... ;

2- Caractéristiques physico-chimiques liées à la structure naturelle de l'eau :

— (sans changement)..... ;

— (sans changement)..... ;

Chlorures	mg/l(Cl)	maximum 500
Sulfates	mg/l(SO4)	maximum 400
Calcium	mg/l(Ca)	maximum 200
Magnésium	mg/l(Mg)	maximum 150
Sodium	mg/l(Na)	maximum 200
Potassium	mg/l(K)	maximum 20
Aluminium total	mg/l	maximum 0,2
Oxydabilité au permanganate de potassium	mg/l en oxygène	maximum 3

Résidus secs après dessiccation mg/l maximum 2,000 à 180°C

3- Caractéristiques concernant les substances indésirables

Nitrates	mg/l de N03	maximum 50
Nitrites	mg/l de N02	maximum 0,1
Ammonium	mg/l de NH4	maximum 0,5
Fluor	mg/l de F	maximum 2
Fer	mg/l (Fe)	maximum 0,3
Manganèse	mg/l (Mn)	maximum 0,5
Cuivre	mg/l (Cu)	maximum 1,5
Zinc	mg/l (Zn)	maximum 5
Argent	mg/l (Ag)	maximum 0,05

4- Caractéristiques concernant les substances toxiques :

Arsenic	µg/l (As)	maximum 10
Cadmium	µg/l (Cd)	maximum 5
Cyanure	µg/l (Cn)	maximum 50
Chrome total	µg/l (Cr)	maximum 50
Mercure	µg/l (Hg)	maximum 1
Plomb	µg/l (Pb)	maximum 10
Sélénium	µg/l (Se)	maximum 10

Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) :

* Pour le total des 6 µg/l 0,1

substances suivantes :

Annexe

Annexe 3

20 Joumada El Oula 1421 20 août 2000 JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 51 19		
CARACTERISTIQUES	UNITE	CONCENTRATIONS
• Hydrogène sulfuré		Ne doit pas être décelable orgaleptiquement
• Fer	mg/l (Fe)	au maximum 0,3
• Manganèse	mg/l (Mn)	au maximum 0,5
• Cuivre	mg/l (Cu)	au maximum 1,5
• Zinc	mg/l (Zn)	au maximum 5
• Argent	mg/l (Ag)	au maximum 0,05
4 – Caractéristiques concernant les substances toxiques :		
• Arsenic	mg/l (As)	0,05
• Cadmium	mg/l (Cd)	0,01
• Cyanure	mg/l (Cn)	0,05
• Chrome total	mg/l (Cr)	0,05
• Mercure	mg/l (Hg)	0,001
• Plomb	mg/l (Pb)	0,05
• Sélénium	mg/l (Se)	0,01
• Hydrocarbures polycycliques aromatiques (H.P.A) :		
* pour le total des 6 substances suivantes :	ug/l	0,2
fluoranthène,		
benzo (3,4) fluoranthène		
benzo (1,12) fluoranthène		
benzo (3,4) pyrène		
benzo (1,12) pérylène		
indeno (1,2,3 – cd) pyrène		
* benzo (3,4) pyrène	ug/l	0,01

Annexe

Annexe 4

Réactif de nitrate (Exp 05/2024)



Réactif de nitrite (Exp 2022)



Annexe

Réactif de sulfates (Exp 02/2025)

