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

UNIVERSITE D'ORAN 2 MOHAMED BEN AHMED

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master en Sciences de la Terre

Option : Hydrogéologie

Caractérisation qualitative : hydrochimique et bactériologique, de quelques eaux embouteillées en Algérie

Présenté et soutenu publiquement par :

Goudjil Ghoufrane

Devant le jury composé de :

FOUKRACHE Mohamed	MAA	Université d'Oran 2	Président
MEBROUK Naima	Professeure	Université d'Oran 2	Encadreur
ABLAOUI Halima	MAA	Université d'Oran 2	Examinatrice

Année 2025/2026

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie **Allah**, de m'avoir accordé la santé, la volonté et la patience nécessaires pour mener à bien ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadreur, **Mme MEBROUK Naima** pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations scientifiques et ses remarques constructives ont grandement contribué à l'aboutissement de cette étude.

J'adresse également mes sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail et de lui consacrer une partie de leur temps.

Mes remerciements s'étendent à l'ensemble des enseignants du Département de Géologie de l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, pour la qualité de la formation dispensée et les connaissances scientifiques qu'ils nous ont transmises tout au long de notre cursus universitaire.

Je remercie également toutes les personnes ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire, notamment le personnel la Société de l'Eau et de l'assainissement d'Oran SEOR, en particulier le laboratoire d'analyses physico-chimiques et bactériologiques, pour la réalisation des analyses et leur collaboration.

Enfin, nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos parents, à nos proches et à nos amis pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur confiance tout au long de notre parcours académique.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail,

À ma très chère mère, source inépuisable d'amour, de tendresse et de sacrifice. Merci pour ton soutien, tes prières et tes encouragements qui m'ont accompagnée tout au long de mon parcours. Que Dieu te protège et te garde en bonne santé.

Je dédie ce travail avec tout mon amour père, mon respect et ma profonde gratitude

À ma sœur **Boutheyna**, à qui je dédie ce travail tout particulièrement. Merci pour ton affection, ton soutien constant et ta présence dans les moments les plus importants de ma vie.

À ma sœur **Maner**, pour son encouragement, sa confiance et son soutien moral.

À mes frères **Moundher**, **Haythem** et mon petit frère **Nawrasse**, pour leur affection, leurs encouragements et tous les moments de joie partagés ensemble.

À toute ma famille, pour son soutien indéfectible et sa confiance.

Je tiens également à exprimer mes plus vifs remerciements et ma reconnaissance à Mme ABLAOUI.

À mes chères copines, pour leur amitié sincère, leur soutien moral et les merveilleux moments partagés durant ces années d'études.

À mes collègues de **Licence** et de **Master**, avec qui j'ai partagé des expériences enrichissantes, des défis et de précieux souvenirs universitaires.

À mes enseignants, qui ont contribué à ma formation académique et scientifique.

Enfin, à toutes les personnes qui m'ont soutenue et encouragée de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

CHAPITRE I : Généralités sur l'eau embouteillée en Algérie

I : Historique de l'eau embouteillée en Algérie 4
II : Hydrogéologie du nord algérien 5
II.1 : Cadre géologique et structural 5
II.2 : Ressources en eaux souterraines 8
II.3 : Ressources en eaux de surface 10
III : Pressions et vulnérabilité des ressources hydriques 12
IV : L'industrie des eaux embouteillées en Algérie 13
V : Cadre réglementaire et normatif 15
VI : Contribution du dessalement à la sécurité hydrique 17
Conclusion 18

CHAPITRE II : Paramètres caractéristiques des eaux embouteillées

I : Catégories des eaux embouteillées en Algérie 19
I.1 : Eau minérale naturelle 19
I.2 : Eau de source 20
II : Caractéristiques physiques et chimiques des eaux 21
II.1 : Caractéristiques physiques 21
II.2 : Caractéristiques chimiques 23
II.3 : Autres paramètres 26
III : Caractéristiques bactériologiques des eaux embouteillées 27
III.1 : Importance de l'analyse microbiologique 27
III.2 : Germes indicateurs et pathogènes recherchés 28
III.3 : Normes bactériologiques applicables 30
Conclusion 31

CHAPITRE III : Matériel et Méthodes

I : Répartition par zones productrices des marques étudiées 33
I.1 : Eaux minérales analysées 33
I.2 : Eaux de source analysées 34
II : Conditionnement et conservation des échantillons 35
III : Analyses physicochimiques 36
III.1 : Paramètres mesurés au laboratoire (pH, RS, nitrates, ions, CE, turbidité) 36
III.2 : Analyses complémentaires (TAC, dureté totale) 40
III.3 : Ammonium et fluorures (F^-) 41
IV : Analyses bactériologiques 42

IV.1 : Coliformes totaux et E. coli 42
IV.2 : Entérocoques fécaux 43
IV.3 : Clostridium sulfito-réducteurs 43
Conclusion 44

CHAPITRE IV : Résultats et Discussions

I : Interprétation graphique des résultats sur les étiquettes 46
I.1 : Balance ionique (données étiquettes) 46
I.2 : Faciès hydrochimiques — Diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff 48
II : Résultats des analyses réalisées au laboratoire 50
II.1 : Paramètres physicochimiques mesurés (2026) 50
II.2 : Balance ionique (analyses laboratoire) 52
II.3 : Ammonium et fluorures (F^-) 54
II.4 : Diagramme de Piper (analyses laboratoire) 54
II.5 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyses laboratoire) 56
II.6 : Comparaison des résultats de laboratoire 2025 et 2026 57
III : Résultats bactériologiques des eaux analysées 58
III.1 : Discussion de la qualité bactériologique 59
IV : Comparaison et Discussion générale 60
Conclusion 63

CONCLUSION GÉNÉRALE 64
RECOMMANDATIONS 65
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 67

RÉSUMÉ

Ce mémoire évalue la qualité physico-chimique et bactériologique de sept eaux embouteillées en Algérie (minérales : Ifri, Guedila, Texanna, Lalla Khedija ; de source : Togi, Besbassa, Soummam). Des analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées sur ces eaux en Avril 2026 au laboratoire de la SEOR Oran, ont permis de comparer ces dernières avec celles affichées sur les étiquettes des bouteilles commercialisées. Le calcul de la balance ionique a permis de constater un bon équilibre entre cations et anions pour la majorité des eaux étudiées, à l'exception de Togi et Texanna. Sur la base des représentations graphiques sur les diagrammes de Piper et Schoeller-Berkaloff, les résultats révèlent une dominance du faciès bicarbonaté calcique et magnésien, lié aux aquifères carbonatés. Néanmoins, des spécificités existent, notamment un faciès chloruré-sulfaté calcique pour Guedila, une minéralisation relativement faible pour Lalla Khedidja et une tendance sodique pour Besbassa.
Sur le plan sanitaire, l'absence totale de germes atteste d'une parfaite conformité bactériologique aux normes algériennes et de l'OMS.

Mots-clés : Eau minérale, eau de source, hydrochimie, bactériologie, qualité, Normes algériennes et internationales

ABSTRACT

This work evaluates the physico-chemical and bacteriological quality of seven bottled waters in Algeria (mineral: Ifri, Guedila, Texanna, Lalla Khedija; source: Togi, Besbassa, Soummam). Physico-chemical and bacteriological analyses carried out on these waters in April 2026 at the SEOR Oran laboratory made it possible to compare them with those displayed on the labels of marketed bottles. The calculation of the ionic balance showed a good balance between cations and anions for most of the studied waters, except for Togi and Texanna. Based on the graphical representations on the Piper and Schoeller-Berkaloff diagrams, the results reveal a dominance of the calcic and magnesian bicarbonate facies, related to carbonate aquifers. Nevertheless, some specificities exist, notably a chlorine-sulphate calcium facies for Guedila, a relatively low mineralization for Lalla Khedidja and a sodium trend for Besbassa.
In terms of health, the total absence of germs attests to a perfect bacteriological compliance with Algerian and WHO standards.

Keywords: Mineral water, spring water, hydrochemistry, bacteriology, quality, Algerian and international standards

الملخص

يهدف هذا العمل إلى تقييم الجودة الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية لسبعة أنواع من المياه المعبأة والمتداولة في الجزائر، تشمل أربع مياه معدنية طبيعية هي: إفري، قديلة، تكسانا، وللا خديجة، وثلاث مياه منبع هي: توغي، بسباسة، وسومام.
أُجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبكتريولوجية خلال شهر أفريل 2026 بمخبر الشركة الجزائرية للمياه – وحدة وهران (SEOR)، وتمت مقارنة النتائج المتحصل عليها بالقيم المصرح بها على ملصقات القنينات المتداولة في الأسواق.
أظهر حساب التوازن الأيوني وجود توازن جيد بين الأيونات الموجبة والأيونات السالبة في معظم العينات المدروسة، باستثناء مائي توغي وتكسانا، حيث سجلت نتائجهما قيماً تشير إلى ضعف موثوقية التحاليل الكيميائية.
كما بينت نتائج التمثيل على المخططات الهيدروكيميائية أن معظم المياه المدروسة تنتمي إلى الواجهة الهيدروكيميائية من نوع البيكربونات الكلسية والمغنيسيومية، وهو ما يعكس تأثرها بطبقات مائية ذات طبيعة كربوناتية. وقد أظهرت بعض العينات خصائص مميزة، حيث تميزت مياه قديلة بواجهة كلوريدية–كبريتاتية كلسية، في حين اتسمت مياه للا خديجة بضعف معدنيتها، بينما أظهرت مياه بسباسة ميلاً نحو الغلبة الصوديومية.
ومن الناحية الصحية، أظهرت نتائج التحاليل البكتريولوجية غياباً تاماً لجميع الجراثيم والمؤشرات البكتيرية في مختلف العينات المدروسة، مما يؤكد مطابقتها للمعايير الجزائرية وتوصيات منظمة الصحة العالمية الخاصة بمياه الشرب، ويعكس جودة صحية عالية وصلاحيتها للاستهلاك البشري.

الكلمات المفتاحية
المياه المعدنية الطبيعية، مياه المنبع، الجودة الفيزيائية والكيميائية، الجودة البكتريولوجية، الهيدروكيمياء، الواجهة الهيدروكيميائية، التوازن الأيوني، المعايير الجزائرية، منظمة الصحة العالمية

LISTE DES ABREVIATIONS

ANRH : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

AEP : Alimentation en Eau Potable

CE : Conductivité Électrique

E. coli : Escherichia coli

NTU : Nephelometric Turbidity Units (Unité de mesure de la turbidité)

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PET : Polyéthylène Téréphtalate (Plastique de conditionnement)

PH : Potentiel d'Hydrogène

RS : Résidu Sec à 180°C (mg/L)

TAC : Titre Alcalimétrique Complet (mg/L)

TH : Titre Hydrotimétrique / Dureté Totale (mg/L ou degré français)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Relation lithologie–faciès hydrochimique observée dans le nord algérien ... 7
Tableau 2 : Principaux bassins versants du nord algérien 11
Tableau 3 : Différences entre l'eau de source et l'eau minérale naturelle 20
Tableau 4 : Températures caractéristiques des principaux aquifères 21
Tableau 5 : Classification des eaux algériennes selon la conductivité électrique..... 22
Tableau 6 : Valeurs normatives du pH selon les organismes de référence 22
Tableau 7 : Classification des eaux algériennes selon le résidu sec à 180 °C 23
Tableau 8 : Classification de la dureté totale (TH) 25
Tableau 9 : Variabilité de l'oxygénation des eaux naturelles et souterraines 26
Tableau 10 : Normes de qualité microbiologique des eaux embouteillées 30
Tableau 11 : Normes de conformité et méthodes d'analyse microbiologique des eaux embouteillées..... 44
Tableau 12 : Protocole d'analyse microbiologique de l'eau embouteillée 44
Tableau 13 : Résultats des analyses chimiques déclarées sur étiquette des eaux étudiées36
Tableau 14 : Résultats des analyses chimiques des eaux minérales au laboratoire 50
Tableau 15 : Résultats des analyses chimiques des eaux de source au laboratoire 51
Tableau 16 : Paramètres physicochimiques complémentaires mesurés 52
Tableau 17 : Balances ioniques calculées à partir des données d'étiquette..... 47
Tableau 18 : Faciès hydrochimiques des eaux étudiées (données étiquettes) 48
Tableau 19 : Classification de la dureté totale (TH) des eaux étudiées 53
Tableau 20 : Balances ioniques des eaux étudiées analyses laboratoire (2025–2026) ... 53
Tableau 21 : Comparaison des résultats de laboratoire 2025 et 2026 57
Tableau 22 : Écarts (%) entre valeurs d'étiquette et résultats de laboratoire Ifri 57
Tableau 23 : Écarts (%) entre valeurs d'étiquette et résultats de laboratoire Lalla Khedija ..... …58
Tableau 24 : Écarts (%) entre valeurs d'étiquette et résultats de laboratoire Besbassa... 62
Tableau 25 : Résultats des analyses bactériologiques des sept marques étudiées 58
Tableau 26 : Tableau de conformité bactériologique des eaux analysées 59

Liste des figures

Figure 1 : Carte géologique de l'Algérie (Haddad, 2021) 6

Figure 2 : Grands bassins hydrographiques de l'Algérie 11

Figure 3 : Bactérie coliformes totaux 28

Figure 4 : Bactérie E. coli (observation au microscope électronique) 28

Figure 5 : Bactérie Escherichia coli morphologie coloniale 29

Figure 6 : Bactérie Clostridium sulfito-réducteurs 29

Figure 7 : Répartition géographique par zones productrices d'eaux étudiées 33

Figure 8 : Valeurs de pH des eaux embouteillées étudiées (étiquettes) 36

Figure 9 : Résidus secs (mg/L) des eaux embouteillées étudiées (étiquettes) 37

Figure 10 : Teneurs en nitrites et nitrates des eaux étudiées (étiquettes) 38

Figure 11 : Teneurs en cations majeurs des eaux étudiées (étiquettes) 38

Figure 12 : Teneurs en anions majeurs des eaux étudiées (étiquettes) 39

Figure 13 : Diagramme de Piper analyses étiquettes des sept marques 48

Figure 14 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff analyses étiquettes 49

Figure 15 : Diagramme de Piper analyses laboratoire (2025–2026) 54

Figure 16 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff analyses laboratoire (2025–2026) 56

Figure 17 : Courbes d'évolution des paramètres physicochimiques Ifri 57

Figure 18 : Courbes d'évolution des paramètres physicochimiques Lalla Khedija 58

Figure 19 : Courbes d'évolution des paramètres physicochimiques Besbassa (..... 60

INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource vitale dont la qualité conditionne directement la santé publique et le développement durable des sociétés. En Algérie, face à la pression croissante sur les ressources hydriques conventionnelles, l'eau embouteillée s'est imposée comme une alternative de consommation majeure, avec un marché en pleine expansion regroupant de nombreuses marques à l'échelle nationale.

Cependant, la fiabilité de la composition chimique déclarée sur les étiquettes, la stabilité temporelle de la qualité des sources exploitées et la conformité bactériologique des produits commercialisés demeurent des enjeux scientifiques et sanitaires insuffisamment documentés. Des écarts entre les valeurs déclarées et les analyses indépendantes, des dérives hydrochimiques liées à l'évolution des aquifères, ainsi que des risques de contamination microbiologique constituent des préoccupations légitimes pour les consommateurs et les autorités de contrôle.

Le présent travail s'inscrit dans ce contexte. Il vise à caractériser de façon rigoureuse la qualité physicochimique et bactériologique de sept marques d'eaux embouteillées parmi les plus commercialisées en Algérie Ifri, Guedila, Texanna, Lalla Khedija (eaux minérales) et Togi, Besbassa, Soummam (eaux de source) par confrontation des données d'étiquette aux résultats d'analyses conduites au laboratoire lors de deux campagnes successives (2025 et 2026).

Ce mémoire poursuit les objectifs scientifiques suivants :

• Évaluer la conformité des valeurs physicochimiques déclarées sur les étiquettes des eaux embouteillées par rapport aux analyses de laboratoire réalisées

• Calculer les balances ioniques afin d'apprécier la fiabilité analytique des données d'étiquetage et des mesures de laboratoire ;

• Déterminer les faciès hydrochimiques des eaux étudiées à l'aide des diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff, et identifier les mécanismes géochimiques qui les contrôlent.

• Détecter et interpréter les dérives temporelles de composition chimique entre 2025 et 2026 pour les trois marques analysées lors des deux campagnes.

• Évaluer la qualité bactériologique des sept marques par recherche des germes indicateurs et pathogènes réglementaires ;

• Formuler des recommandations pratiques à l'attention des producteurs, des autorités de contrôle et des consommateurs.

Le premier chapitre présente le contexte hydrogéologique du nord algérien, l'évolution du secteur de l'eau embouteillée, le cadre réglementaire national (décrets 04-196, 11-125, 11-219) et les normes OMS (2022) applicables aux eaux de boisson.

Le second décrit les catégories d'eaux embouteillées et leurs propriétés physiques, chimiques et bactériologiques, en précisant les paramètres de qualité réglementés et les mécanismes de minéralisation

Le troisième aborde l'origine géographique et hydrogéologique des sept marques étudiées, les protocoles d'échantillonnage ainsi que les méthodes d'analyse physico-chimique (pH, conductivité, ions majeurs, TAC, TH, fluorures, ammonium) et bactériologique utilisés au laboratoire de la SEOR.

Pour finir, une présentation et interprétation de l'ensemble des résultats obtenus : balances ioniques, faciès hydrochimiques, comparaisons des analyses étiquette–laboratoire, évolution temporelle 2025-2026 et qualité bactériologique, en regard des normes réglementaires et des données de la littérature.

CHAPITRE I

Généralités sur l'eau embouteillée en Algérie

I. Historique de l'eau embouteillée en Algérie

L'histoire de l'eau embouteillée en Algérie est étroitement liée à la richesse hydrogéologique du pays et à l'héritage de la période coloniale. Dès le début du XX^{e} siècle, sous administration française, certaines sources naturelles reconnues pour leurs propriétés physico-chimiques ont été exploitées et commercialisées à l'échelle locale et régionale.
Après l'indépendance en 1962, le secteur de l'eau embouteillée est demeuré pendant plusieurs décennies sous contrôle étatique, avec une production modeste orientée vers la satisfaction des besoins du marché intérieur.
L'État algérien concentrait ses efforts sur le développement des infrastructures hydrauliques à grande échelle : barrages, réseaux d'adduction d'eau potable, au détriment d'une filière embouteillage encore embryonnaire.
C'est à partir des années 1990, dans le contexte de la libéralisation de l'économie nationale et de la transition vers une économie de marché, que l'industrie de l'eau embouteillée a connu un essor remarquable en Algérie. De nouvelles unités de production ont vu le jour, exploitant des sources naturelles réparties sur l'ensemble du territoire national.

La création de l'Association des Producteurs Algériens de Boissons (APAB) a joué un rôle déterminant dans la professionnalisation et la structuration de la filière. Cette organisation professionnelle a contribué à fédérer les acteurs du secteur, à promouvoir les bonnes pratiques de production et à représenter les intérêts des producteurs auprès des instances réglementaires. Parallèlement, le cadre législatif et réglementaire s'est progressivement renforcé, aboutissant à la promulgation du décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif aux eaux minérales naturelles et aux eaux de source, et du décret n° 11-219 du 12 juin 2011 fixant les critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, textes qui constituent aujourd'hui les références normatives fondamentales régissant ce secteur en Algérie (Journal Officiel de la République Algérienne, 2011).

Aujourd'hui, le marché algérien de l'eau embouteillée s'impose comme l'un des plus dynamiques du Maghreb, avec une consommation nationale en constante progression. Cette expansion s'explique par une méfiance grandissante des consommateurs envers la qualité de l'eau du robinet dans certaines régions, une amélioration du niveau de vie et une sensibilisation accrue aux questions de santé publique.
L'Algérie représente désormais un enjeu économique majeur, générant des milliers d'emplois directs et indirects et contribuant significativement à la valeur ajoutée du secteur agroalimentaire national (Fekhaoui & Boumaiza, 2018).

II. Hydrogéologie du nord algérien

II.1. Cadre géologique et structural

Le nord de l'Algérie se distingue par une architecture géologique complexe, résultat d'une longue histoire tectonique marquée par la collision entre les plaques africaine et eurasiatique. Cette complexité structurale conditionne directement la nature, la distribution et la qualité des ressources en eau souterraine exploitées dans la région, notamment celles destinées à l'embouteillage.

II.1.1. Principales formations géologiques

Le nord algérien présente une grande diversité lithologique organisée selon un zonage géographique bien défini (Figure 1) :

- Les formations carbonatées (calcaires et dolomies) : largement représentées dans les chaînes telliennes et les Aurès, elles constituent le support des aquifères karstiques les plus productifs. Leur dissolution par les eaux météoriques confère aux eaux souterraines un faciès bicarbonaté calcique caractéristique, propice à la production d'eaux minérales de qualité.
- Les formations détritiques (grès, conglomérats, sables) : présentes dans les bassins sédimentaires néogènes des plaines côtières (Annaba, Bône, Mitidja) et des hauts plateaux, elles abritent des aquifères alluviaux importants à porosité d'interstices.
- Les formations évaporitiques (gypse, anhydrite, sel gemme) : abondantes dans la région des hauts plateaux et dans certaines zones telliennes, elles sont à l'origine d'une minéralisation sulfatée et chlorurée des eaux, parfois incompatible avec les critères de potabilité.
- Les formations argileuses et marneuses : jouant un rôle d'aquitard ou d'aquiclude, elles compartimentent les aquifères et contrôlent les échanges hydrodynamiques entre les différentes nappes.

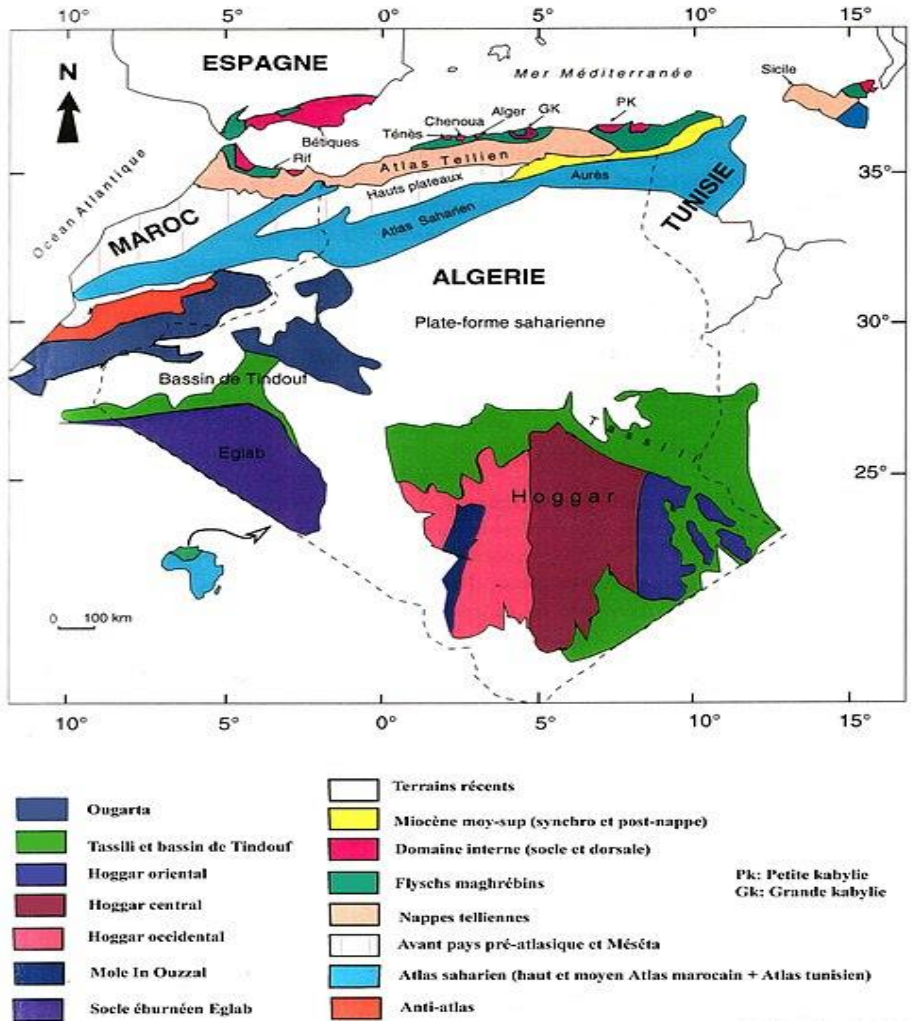


Figure 1 : Carte géologique de l'Algérie *(In Haddad, B., 2021)*

II.1.2. Structures tectoniques et grands ensembles morpho-structuraux

Le nord algérien est structuré en trois grands domaines morpho-structuraux orientés globalement est-ouest :

- **Les chaînes telliennes** : ensemble plissé et faillé qui borde la côte méditerranéenne sur plus de 1 200 km. Constituées de nappes de charriage empilées, elles présentent une géologie complexe alternant calcaires, flysch, marnes et ophiolites. Ces reliefs jeunes, soumis à une pluviométrie relativement élevée (600 à 1 500 mm/an dans certains secteurs), constituent les principales zones de recharge des aquifères du nord.
- **Les hauts plateaux** : vaste pénéplaine intérieure s'étendant entre 900 et 1 200 m d'altitude, caractérisée par un climat semi-aride et une pluviométrie limitée (250 à 400 mm/an). Les formations sédimentaires néogènes qui les composent hébergent des nappes phréatiques souvent surexploitées.
- **L'Atlas saharien** : dernière barrière orographique avant le Sahara, constitué de plis et de failles orientés NE-SO. Ses formations carbonatées et gréseuses constituent des aquifères importants dont certains alimentent des sources thermo-minérales exploitées pour l'embouteillage

II.1.3. Influence de la lithologie sur la minéralisation des eaux

La nature géochimique des eaux souterraines est étroitement liée à la composition minéralogique des formations aquifères traversées.

Le tableau ci-dessous synthétise les principales relations lithologie-faciès hydro chimique observées dans le nord algérien

Tableau 1. Relation lithologie-faciès hydrochimique observée dans le nord Algérien

Formation géologique	Ions dominants	Faciès hydrochimique	Exemple de source
Calcaires et dolomies	Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-	Bicarbonaté calcique / magnésien	Sources des régions montagneuses de Kabylie
Grès et sables	Na^+, HCO_3^-	Bicarbonaté sodique	Sources des hauts plateaux
Gypse et anhydrite	Ca^{2+}, SO_4^{2-}	Sulfaté calcique	Certaines sources des hauts plateaux
Halite (sel gemme)	Na^+, Cl^-	Chloruré sodique	Eaux de zones évaporitiques
Ophiolites et basaltes	Mg^{2+}, SiO_2	Magnésien siliceux	Sources volcaniques localisées

II.2. Ressources en eaux souterraines

Les eaux souterraines du nord algérien constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable et en eau embouteillée. Leur distribution, leur productivité et leur qualité varient considérablement selon le contexte géologique local.

II.2.1. Grands aquifères du nord algérien

Trois grands types d'aquifères sont distingués dans le nord algérien :

1. **Les aquifères karstiques :** développés dans les massifs calcaires et dolomitiques des chaînes telliennes et de l'Atlas saharien, ils se caractérisent par une grande hétérogénéité et une circulation rapide de l'eau à travers un réseau de fissures, conduits et cavités dissoutes. Très productifs, ils alimentent de nombreuses sources aux débits élevés mais à la qualité souvent variable selon la pluviométrie. Les sources de Tikjda (Bouira), de Guelt es-Stel et de la région de Béjaïa en sont des exemples caractéristiques.
2. **Les aquifères alluviaux :** localisés dans les plaines côtières (Mitidja, plaine d'Annaba) et dans les vallées des grands oueds (Cheliff, Soummam, Seybouse), ils présentent des réserves importantes mais sont très vulnérables aux pollutions de surface d'origine agricole et urbaine. La nappe de la Mitidja, la plus importante du nord algérien, s'étend sur plus de 1 400 km² et constitue un château d'eau stratégique pour la région d'Alger.
3. **Les aquifères de piémont et de plateau :** situés en bordure des reliefs et dans les bassins sédimentaires des hauts plateaux, ils sont généralement captifs et présentent une minéralisation plus élevée. Certains d'entre eux, comme les aquifères du bassin de Saïda ou de la région de Tiaret, alimentent des sources à débit régulier exploitées pour la production d'eau embouteillé.

II.2.2. Zones de recharge et de vulnérabilité des nappes

La recharge des aquifères du nord algérien est assurée essentiellement par l'infiltration directe des précipitations dans les zones d'affleurement des roches perméables, et par l'infiltration des eaux de ruissellement dans les lits des oueds. Les zones de recharge les plus actives correspondent aux massifs calcaires karstiques et aux cônes alluviaux de piémont.

La vulnérabilité des nappes aux pollutions est très variable : les aquifères karstiques, en raison de leur connexion rapide avec la surface, sont particulièrement sensibles aux contaminations bactériologiques et chimiques ; les aquifères captifs profonds bénéficient en revanche d'une protection naturelle plus efficace.

II.3. Ressources en eaux de surface

Les eaux de surface constituent, avec les eaux souterraines, les deux piliers de l'alimentation en eau potable du nord algérien. Bien que moins directement impliquées dans la production d'eau embouteillée qui requiert généralement une eau d'origine souterraine, elles participent indirectement à la recharge des nappes et constituent une ressource stratégique pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable après traitement.

II.3.1. Principaux bassins versants

Le réseau hydrographique du nord Algérien est organisé en cinq bassins versants principaux, drainant vers la mer Méditerranée (Figure 2) :

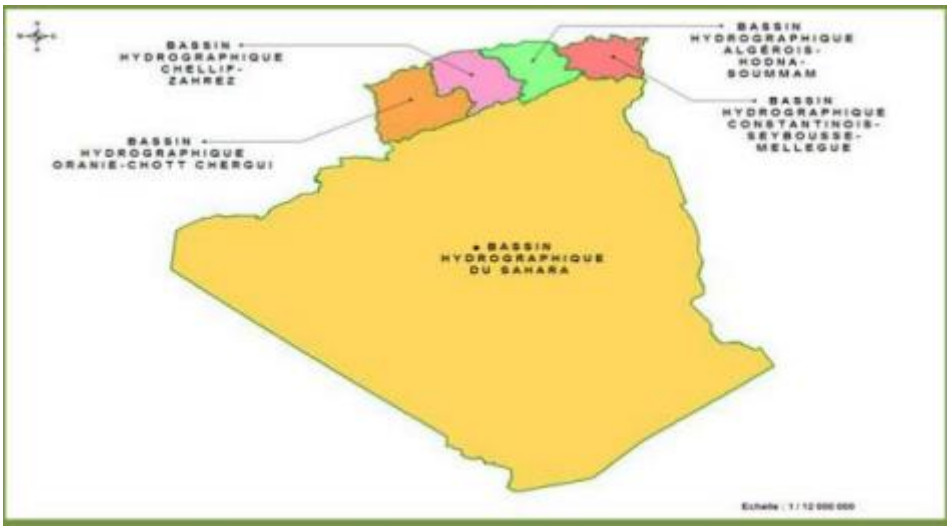


Figure 2. Grands bassins hydrographiques de l'Algérie (Moulla, 2012).

Le nord de l'Algérie est structuré en plusieurs bassins hydrographiques aux superficies inégales, dont les plus importants sont recensés dans le tableau 2 ci-dessous.

Le bassin Oranie-Chott-Chergui domine largement avec 77 900 km², drainé par l'oued Cheliff, le plus long cours d'eau du pays, tandis que les bassins côtiers algérois et constantinois, bien que plus modestes en superficie, desservent des zones urbaines à forte densité démographique.

Le bassin de la Soummam présente un intérêt particulier dans le cadre de cette étude, car il abrite plusieurs sources d'eaux embouteillées commercialisées à l'échelle nationale.

Ces unités hydrographiques constituent les principales ressources en eaux superficielles du nord algérien et jouent un rôle déterminant dans l'alimentation en eau potable des populations riveraines.

Tableau 2. Principaux bassins versants (ANRH, MRE (2023))

Bassin versant	Superficie (km²)	Oued principal	Wilaya(s) concernée(s)
Bassin Oranie-Chott-Chergui	77 900	Oued Cheliff	Oran, Relizane, Chlef, Ain Defla
Bassin Côtier algérois	9 675	Oued Mazafran, Harrach	Alger, Tipaza, Blida, Boumerdès
Bassin Soummam	9 125	Oued Soummam	Béjaïa, Bordj Bou Arréridj, Bouira
Bassin Seybouse	7 900	Oued Seybouse	Annaba, Guelma, Souk Ahras
Bassin Côtier constantinois	6 840	Oued El Kébir, Mafragh	Skikda, El Tarf, Jijel

II.3.2. Réseau hydrographique et barrages stratégiques

Le nord algérien dispose d'un réseau hydrographique relativement dense, mais à régime torrentiel prononcé :

Les débits sont concentrés en période hivernale et printanière, et s'effondrent en été. Pour pallier cette irrégularité et sécuriser l'approvisionnement en eau, l'État algérien a engagé depuis les années 1960 un programme ambitieux de construction de barrages.

Parmi les ouvrages les plus importants du nord algérien, on cite le barrage de Beni Haroun (wilaya de Mila), le plus grand d'Algérie avec une capacité de 960 millions de m³, le barrage de Koudiat Acerdoune (Bouira) et le barrage de Béni Zid (Jijel).

Ces infrastructures jouent un rôle capital dans la sécurisation de l'eau potable pour les grandes agglomérations du nord.

II.3.3. Qualité naturelle des eaux de surface

Les eaux de surface du nord algérien présentent une qualité naturelle très variable, influencée par la nature lithologique des bassins versants drainés, les apports anthropiques (rejets urbains, ruissellement agricole) et les conditions climatiques (crues turbides, étiages concentrant les polluants).

De manière générale, les eaux de surface sont plus turbides, plus chargées en matières organiques et plus exposées aux contaminations bactériologiques que les eaux souterraines. Leur utilisation pour l'alimentation en eau potable nécessite un traitement complet incluant coagulation-floculation, décantation, filtration et désinfection.

III. Pressions et vulnérabilité des ressources hydriques

Les ressources en eau du nord algérien sont soumises à des pressions croissantes d'origine naturelle et anthropique qui menacent à la fois leur quantité et leur qualité. L'évaluation de ces pressions est indispensable pour comprendre les défis actuels du secteur de l'eau en Algérie, y compris celui de l'eau embouteillée.

III.1. Surexploitation des nappes et stress hydrique

La demande en eau du nord algérien est en constante augmentation sous l'effet conjugué de la croissance démographique, de l'urbanisation accélérée et du développement des activités agricoles et industrielles. Cette pression se traduit par une surexploitation des nappes phréatiques dans de nombreuses régions, se manifestant par la baisse des niveaux piézométriques, la diminution des débits de sources et, dans les zones côtières, par des phénomènes d'intrusion marine dans les aquifères littoraux.

La disponibilité en eau par habitant en Algérie est estimée à environ 350 m³/habitant/an en 2023, un chiffre bien en deçà du seuil de stress hydrique fixé par la Banque mondiale à 1 000 m³/habitant/an, confirmant la criticité de la situation hydrique nationale.

III.2. Pollutions agricoles, industrielles et urbaines

La qualité des eaux souterraines et de surface du nord algérien est menacée par plusieurs types de pollutions :

- Pollution agricole : l'utilisation intensive d'engrais azotés et de pesticides dans les plaines agricoles (Mitidja, plaine d'Annaba, plaine de Guelma) entraîne une contamination des nappes phréatiques par les nitrates (NO_3^-) et les composés organochlorés. Des teneurs en nitrates dépassant la norme OMS de 50 mg/L ont été signalées dans plusieurs aquifères de ces régions.
- Pollution industrielle : les rejets non traités ou insuffisamment traités des industries agro-alimentaires, chimiques et métallurgiques contribuent à la contamination des eaux

superficielles et, par infiltration, des eaux souterraines par les métaux lourds, les hydrocarbures et les matières organiques.

- Pollution urbaine : l'insuffisance du réseau d'assainissement, le taux de raccordement au réseau d'épuration demeurait inférieur à 40 % dans certaines wilayas du nord au début des années 2020, favorise la contamination bactériologique des eaux de surface et des nappes peu profondes par les coliformes fécaux et autres agents pathogènes.

III.3. Impact des changements climatiques sur la recharge des aquifères

Le nord algérien est l'une des régions du bassin méditerranéen les plus vulnérables aux effets des changements climatiques. Les projections climatiques convergent vers une diminution des précipitations annuelles de l'ordre de 10 à 20 % à l'horizon 2050, associée à une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses.

Ces évolutions auront des conséquences directes sur la recharge des aquifères, déjà fragilisée par la surexploitation. La diminution de la recharge naturelle se traduira par une baisse des niveaux piézométriques, une réduction des débits de sources et une concentration accrue des éléments dissous dans les eaux souterraines, susceptible de dégrader la qualité chimique des eaux exploitées pour l'embouteillage.

Face à ces défis, l'Algérie a développé des stratégies alternatives d'approvisionnement en eau, notamment le dessalement de l'eau de mer avec une capacité installée dépassant 2,2 millions de m^3/jour en 2024, et la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation agricole

IV. L'industrie des Eaux Embouteillées en Algérie

IV.1. Contexte historique et évolution

L'industrie des eaux embouteillées en Algérie a connu plusieurs étapes majeures de développement, marquées par des évolutions économiques, technologiques et organisationnelles :

- Période post-indépendance (1966-1980) : Le secteur était dominé par des entreprises publiques. La première société nationale des eaux minérales a été créée en 1966 pour l'exploitation, l'embouteillage et la commercialisation de l'eau minérale Saïda, l'une des plus anciennes marques du pays.
- Ouverture économique des années 1980 et 1990 : Les réformes économiques ont favorisé l'émergence d'opérateurs privés. Le groupe Ifri, créé en 1986 à Ouzellaguen (Béjaïa), a marqué un tournant dans le secteur en inaugurant, en 1996, sa première unité d'embouteillage utilisant des bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET), contribuant ainsi à la modernisation de l'industrie.
- Expansion depuis les années 2000 : Le marché des eaux embouteillées a connu une croissance rapide grâce à l'amélioration du niveau de vie, à l'urbanisation croissante et à l'augmentation de la demande en eau de qualité. Cette dynamique s'est traduite par l'installation de nombreuses unités de production à travers le territoire national. Aujourd'hui, le marché algérien compte plus de cinquante marques d'eaux minérales naturelles et d'eaux de source commercialisées à l'échelle national

IV.2. Analyse hydrochimique et qualité

L'étude comparative entre les étiquettes et les analyses de laboratoire révèle des points clés :

- Variabilité : Certaines sources montrent des variations saisonnières importantes de minéralisation (Calcium, Magnésium).
- Points de vigilance : Des écarts significatifs sont parfois observés sur les taux de Nitrates et de Chlorures, soulignant l'importance d'un contrôle rigoureux pour respecter les normes de potabilité (limite de 50 mg/l pour les nitrates).
- Stabilité : Des marques maintiennent une très faible minéralisation constante, idéale pour les nourrissons.

IV.3. Enjeux et Perspectives

Le secteur fait face à des défis majeurs :

- Environnement : La gestion des déchets plastiques (PET) devient une priorité nationale.
- Ressources : La surexploitation de certaines nappes phréatiques (particulièrement dans les régions arides) pose la question de la durabilité.
- Concurrence : Le marché sature, poussant les entreprises à innover (eaux aromatisées, nouveaux formats, designs premium).

IV.4. Enjeux environnementaux

En Algérie, le développement du marché des eaux embouteillées s'accompagne de défis environnementaux liés principalement à la gestion des emballages en plastique.
Les bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET), largement utilisées pour le conditionnement des eaux minérales et des eaux de source, représentent une part importante des déchets solides urbains. Bien que ce matériau soit recyclable, les taux de récupération et de valorisation restent insuffisants, ce qui favorise son accumulation dans l'environnement. Cette situation peut entraîner une dégradation des paysages, une pollution des sols et des ressources hydriques, ainsi que la formation de microplastiques susceptibles d'affecter les écosystèmes. Face à ces enjeux, l'amélioration des systèmes de collecte sélective et de recyclage constitue une priorité pour réduire l'impact environnemental du secteur. Par ailleurs, l'utilisation de matériaux alternatifs, tels que le verre recyclable ou les emballages biosourcés, représente une voie prometteuse pour limiter l'empreinte écologique des eaux embouteillées. Ainsi, l'adoption de pratiques de production et de consommation plus durables apparaît essentielle pour concilier le développement de cette industrie avec la préservation de l'environnement en Algérie

V. Cadre réglementaire et normatif

V.1. Réglementation algérienne

Le décret exécutif n° 04-196 du 15 juillet 2004 constitue le texte fondateur de l'encadrement des eaux conditionnées en Algérie. Il définit deux catégories d'eaux : l'eau minérale naturelle (EMN), d'origine souterraine, à composition stable et microbiologiquement saine, et l'eau de source, dont la composition peut varier. Il encadre l'exploitation, fixe les traitements autorisés (décantation, filtration, aération, incorporation de CO_2) et instaure une Commission permanente présidée par le Ministre des ressources en eau. Ce dispositif a été complété par plusieurs textes : l'arrêté interministériel du 22 janvier 2006 sur les proportions ioniques admissibles, le décret

n° 13-298 du 18 août 2013 et le décret n° 16-271 du 31 octobre 2016 fixant la redevance d'exploitation. Le contrôle est assuré par la Commission permanente, le CACQE, l'INAPI et les laboratoires agréés.

V.2. Normes OMS (2022)

Les lignes directrices OMS fixent les valeurs guides de référence internationale.

Sur le plan physico-chimique, les seuils essentiels sont : pH entre 6,5 et 8,5, nitrates ≤ 50 mg/L, fluorures ≤ 1,5 mg/L, arsenic ≤ 10 µg/L et résidu sec ≤ 500 mg/L.

Sur le plan microbiologique, l'exigence absolue est l'absence totale d'E. coli et de coliformes totaux (0 UFC/100 mL), complétée par la recherche des entérocoques et des spores de Clostridium perfringens.

V.3. Acteurs économiques et association professionnelle l'APAB

Fondée en 2003, l'Association des Producteurs Algériens de Boissons est l'interlocuteur professionnel central de la filière vis-à-vis des pouvoirs publics. Elle mène des actions de plaidoyer réglementaire et fiscal, contribue à l'élaboration des textes d'application et assure la formation des opérateurs. Sur le plan environnemental, elle pilote un programme de Responsabilité Élargie du Producteur (REP) pour la collecte et le recyclage des emballages PET post-consommation, et porte le projet d'éco-organisme volontaire ECO-APAB, adossé à la coopération algéro-allemande (GIZ/FILREC) et désormais soutenu par la loi n° 25-02 du 20 février 2025.

VI. Contribution du dessalement de l'eau de mer à la sécurité hydrique en Algérie

Face à la pression croissante sur les ressources en eau douce, l'Algérie a massivement investi dans le dessalement de l'eau de mer comme solution stratégique pour sécuriser l'approvisionnement en eau potable. Depuis les années 2000, le pays a développé plusieurs grandes stations de dessalement le long de sa façade méditerranéenne, notamment à Skikda, Oran, Alger et Mostaganem, utilisant principalement la technologie de l'osmose inverse.

Ces infrastructures permettent aujourd'hui de produire plusieurs centaines de millions de mètres cubes d'eau potable par an, contribuant significativement à la couverture des besoins des populations côtières et des wilayas environnantes.

Dans le cadre du Plan National de l'Eau, l'État algérien continue d'étendre ce réseau en construisant de nouvelles stations, afin de réduire la dépendance aux ressources conventionnelles telles que les eaux souterraines et les barrages, de plus en plus vulnérables aux effets des changements climatiques et de la sécheresse récurrente qui frappe la région.

Conclusion

Le premier chapitre met en évidence la dynamique de croissance spectaculaire du marché de l'eau embouteillée, tant à l'échelle internationale qu'en Algérie, portée par des exigences accrues de sécurité sanitaire et de praticité.

L'analyse de la ressource dans le Nord algérien révèle que la disponibilité, la qualité et la composition chimique des eaux de source et minérales dépendent directement d'un cadre morphostructural et lithologique hautement diversifié et complexe.

Les massifs carbonatés karstiques des chaînes telliennes et de l'Atlas saharien s'imposent comme les principaux réservoirs d'eaux de qualité supérieure (faciès bicarbonaté calcique). Cependant, l'évaluation des pressions environnementales démontre une forte vulnérabilité de ces ressources.

Le stress hydrique marqué par une dotation faible (350 m^3/hab/an), la surexploitation des nappes alluviales, la pollution anthropique (nitrates d'origine agricole, rejets urbains et industriels) et l'impact prévisible des changements climatiques sur la recharge naturelle constituent des menaces majeures pour la pérennité qualitative et quantitative des gisements d'eaux embouteillées au niveau national.

CHAPITRE II

Paramètres caractéristiques des eaux embouteillées en Algérie

I. Catégories des eaux embouteillées en Algérie

La réglementation internationale et algérienne distingue deux grandes catégories d'eaux embouteillées, dont les définitions, les critères de qualité et les conditions d'exploitation diffèrent fondamentalement. Cette classification repose sur l'origine de l'eau, sa composition chimique, les traitements auxquels elle peut être soumise et les garanties sanitaires qu'elle doit offrir au consommateur. Comprendre ces distinctions est essentiel pour évaluer correctement la qualité des produits commercialisés et interpréter les résultats analytiques obtenus en laboratoire.

I.1. Eau minérale naturelle :

- **Définition et critères de reconnaissance**

L'eau minérale naturelle constitue la catégorie la plus strictement encadrée parmi les eaux embouteillées. Elle est définie, aussi bien par la directive européenne 2009/54/CE que par le décret algérien n° 04-196 du 15 juillet 2004, comme une eau souterraine d'origine géologique profonde, microbiologiquement saine, caractérisée par sa pureté originelle et la stabilité de sa composition en minéraux, oligo-éléments et autres constituants, composition qui se maintient dans les limites des fluctuations naturelles.

La reconnaissance officielle d'une eau comme eau minérale naturelle est soumise à une procédure d'agrément rigoureuse impliquant une évaluation scientifique approfondie par les autorités sanitaires compétentes.

En Algérie, cette procédure est encadrée par le Ministère de la Santé et nécessite la production d'un dossier complet comprenant des analyses géologiques, hydrogéologiques, physico-chimiques et microbiologiques réalisées sur une période suffisamment longue pour établir la stabilité de la composition.

Les critères de reconnaissance d'une eau minérale naturelle comprennent notamment :

- Une origine souterraine identifiée et protégée, captée à une ou plusieurs émergences naturelles ou forées.
- Une pureté microbiologique originelle, sans traitement de désinfection et exempte de toute contamination bactérienne depuis la source jusqu'au conditionnement.
- Une composition minérale caractéristique et constante, déterminée par la nature géologique des terrains traversés.
- L'absence de toute influence anthropique directe sur la composition de l'eau.
- Une exploitation directe à la source, sans transport par canalisation vers un site de conditionnement distant.

- **Stabilité de la composition chimique**

La stabilité physicochimique constitue le critère distinctif majeur de l'eau minérale naturelle. Issue d'aquifères profonds après un transit géologique de plusieurs décennies à plusieurs siècles, sa minéralisation reflète fidèlement la lithologie des formations traversées et demeure constante dans le temps.

La réglementation algérienne (décret n° 11-125 du 22 mars 2011) impose la mention obligatoire sur étiquette des paramètres ioniques majeurs (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, NO_3^{-}, F^{-}, pH et Résidu sec à 180°C).

Des travaux conduits sur des marques algériennes confirment cette stabilité avec des écarts interannuels généralement inférieurs à 10–15 % pour les ions majeurs, des variations saisonnières mineures pouvant toutefois apparaître dans les aquifères à recharge rapide **(**Bouzid et al., 2020).

- **Propriétés thérapeutiques éventuelles**

Certaines eaux minérales naturelles embouteillées, de par leur composition minérale spécifique, sont reconnues pour leurs effets bénéfiques sur la santé humaine et font l'objet d'usages thérapeutiques traditionnels et scientifiquement documentés.

Les eaux riches en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}) contribuent à la prévention de l'ostéoporose et des troubles musculaires, en constituant une source complémentaire à l'apport alimentaire de ces minéraux essentiels (Bertron et al., 1998 ; Azoulay et al., 2001).

Les eaux bicarbonatées sodiques facilitent la digestion et neutralisent l'hyperacidité gastrique, tandis que les eaux sulfatées exercent un effet laxatif et hépatoprotecteur reconnu.

Par ailleurs, une teneur modérée en fluorures (F^{-}), comprise entre 0,5 et 1,5 mg/L selon les recommandations de l'OMS (2011), confère à l'eau une action préventive contre la carie dentaire (fluorose préventive).

Certaines eaux faiblement minéralisées, grâce à leur faible résidu sec, sont recommandées pour les nourrissons et les personnes souffrant d'affections rénales, car elles favorisent l'élimination des toxines sans surcharger les reins.

Cependant, il convient de souligner que ces propriétés thérapeutiques sont étroitement liées à la composition physico-chimique propre à chaque source et ne peuvent être généralisées à l'ensemble des eaux embouteillées.

En Algérie, plusieurs eaux minérales naturelles commercialisées, telles qu'Ifri et Lalla Khedija, présentent des teneurs en minéraux susceptibles de contribuer positivement à l'équilibre hydrominéral de l'organisme, sous réserve d'une consommation régulière et adaptée aux besoins individuels

I.2. Eau de source

L'eau de source est une eau souterraine d'origine géologique, microbiologiquement saine à l'état naturel, destinée à la consommation humaine telle quelle. Comme l'eau minérale naturelle, elle est captée à la source et conditionnée sur place, mais elle se distingue de cette dernière par l'absence d'exigence de composition chimique caractéristique et stable.

En d'autres termes, l'eau de source n'est pas tenue de présenter une minéralisation particulière ni de maintenir une composition constante dans le temps.

- **Critères microbiologiques requis**

Bien que l'eau de source ne soit pas soumise aux mêmes exigences de composition chimique que l'eau minérale naturelle, elle doit satisfaire des critères microbiologiques stricts à la source, qui garantissent sa pureté originelle avant tout conditionnement.

Ces critères, définis par la réglementation algérienne (décret n° 04-196 de 2004) et alignés sur les recommandations de l'OMS, imposent l'absence totale des germes indicateurs de contamination fécale dans des volumes de référence définis
Ces critères microbiologiques s'appliquent à l'eau telle qu'elle se présente à l'émergence de la source, avant tout traitement. Si une eau de source présente une contamination microbiologique à la source, elle ne peut pas être traitée pour être commercialisée comme eau de source ; elle devra être soumise à un traitement complet et commercialisée comme eau potable conditionnée, catégorie distincte soumise à des règles différentes.

Les différences essentielles entre eau de source et eau minérale naturelle peuvent être résumées comme suit :

Tableau 3. Différences entre eau de source et eau minérale naturelle

Critère	Eau minérale naturelle	Eau de source
Composition chimique	Caractéristique et stable (obligation légale)	Variable, non exigée stable
Reconnaissance officielle	Agrément ministériel obligatoire (long)	Déclaration simplifiée
Propriétés thérapeutiques	Autorisées si prouvées scientifiquement	Formellement interdites
Traitements autorisés	Très limités (aération, filtration physique)	Identiques + quelques traitements supplémentaires
Minéralisation typique	Variable mais spécifique à la source	Généralement plus faible
Mention sur étiquette	Composition complète obligatoire	Composition simplifiée

Ce tableau met en évidence les différences fondamentales entre les deux catégories, tant sur le plan réglementaire que sur le plan analytique. Il illustre notamment le fait que l'eau minérale naturelle bénéficie du cadre normatif le plus exigeant et du positionnement commercial le plus valorisé, tandis que l'eau de source, malgré sa parfaite sécurité sanitaire après traitement, occupe un segment de marché moins premium.

- **Critères microbiologiques requis**

Bien que l'eau de source ne soit pas soumise aux mêmes exigences de composition chimique que l'eau minérale naturelle, elle doit satisfaire des critères microbiologiques stricts à la source, qui garantissent sa pureté originelle avant tout conditionnement.
Ces critères, définis par la réglementation algérienne (décret n° 04-196 de 2004) et alignés sur les recommandations de l'OMS, imposent l'absence totale des germes indicateurs de contamination fécale dans des volumes de référence définis
Ces critères microbiologiques s'appliquent à l'eau telle qu'elle se présente à l'émergence de la source, avant tout traitement. Si une eau de source présente une contamination microbiologique à la source, elle ne peut pas être traitée pour être commercialisée comme eau de source ; elle devra être soumise à un traitement complet et commercialisée comme eau potable conditionnée, catégorie distincte soumise à des règles différentes.

II.1. Caractéristiques physiques

II.1.1 Température

La température de l'eau est un paramètre physique fondamental qui conditionne l'ensemble des équilibres physico-chimiques et biologiques au sein d'un système aquatique.

Elle est mesurée in situ à l'aide de thermomètres à mercure, de sondes thermométriques électroniques ou de capteurs multiparamètres, exprimée en degrés Celsius (°C).
La norme OMS recommande une température inférieure à 25°C pour l'eau potable.

En Algérie, les températures des eaux souterraines varient considérablement selon les régions (Tableau 4)

Au Nord, les nappes phréatiques présentent des températures de 15 à 22°C, reflétant le gradient géothermique normal (~3°C/100 m de profondeur). Dans les régions sahariennes (Albien, Continental Intercalaire), des températures anormalement élevées (40-70°C) résultent de la grande profondeur des aquifères artésiens. Ces eaux thermo-minérales, caractéristiques du grand bassin artésien saharien, représentent une ressource stratégique mais posent des problèmes de gestion thermique lors de l'exploitation.

Tableau 4. Températures caractéristiques des principaux aquifères (Hamdan, A., & Erriaxa, S. 2018)

Région / Aquifère	Température (°C)	Remarques
Mitidja (nappe alluviale)	15 – 20	Recharge par l'Atlas tellien
Hauts Plateaux (nappe karstique)	12 – 18	Influence du climat semi-aride
Continental Intercalaire	45 – 70	Aquifère artésien profond
Complexe Terminal	25 – 45	Chotts et dépressions sahariennes

II.1.2. Conductivité Électrique

La conductivité électrique (CE) mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, directement liée à la concentration et à la nature des ions dissous.

Elle est mesurée en microsiemens par centimètre (µS/cm) ou millisiemens par centimètre (mS/cm) à une température de référence de 25°C. Elle augmente d'environ 2% par degré Celsius.

La relation entre la conductivité électrique et le résidu sec (ou TDS, Total Dissolved Solids) est empirique et dépend de la composition ionique :

$$\textbf{TDS (mg/L)} \approx \textbf{k} \times \textbf{CE (µS/cm)}$$

Facteur de conversion k **:** k varie généralement entre 0,55 et 0,75 selon la composition ionique.

Elle constitue un indicateur synthétique de la minéralisation globale d'une eau, reflétant la concentration totale en ions dissous.
Le tableau 5 montre qu'une eau est directement potable sans traitement en dessous de 500 µS/cm, tandis qu'au-delà de 1500 µS/cm, des procédés de traitement tels que le dessalement ou l'osmose inverse deviennent indispensables pour garantir sa conformité aux normes de potabilité.

Tableau 5. Classification des eaux algériennes selon la conductivité électrique

CE (µS/cm)	Classification	Usage
< 100	Eau très douce	Tous usages
100 – 500	Eau douce	Potable, irrigation
500 – 1500	Eau moyennement minéralisée	Potable (traitée)
1500 – 3000	Eau salée	Dessalement requis
> 3000	Eau très salée	Usage limité

II.1.3. Potentiel hydrogène

Le pH mesure l'acidité ou l'alcalinité d'une eau minérale et caractérise la concentration en ions hydronium (H +) de cette dernière.
La nature géologique des terrains que traverse l'eau minérale conditionne son pH, il est acide (<7) en région granitique et basique (>7) en région calcaire **(**EZZAOUAQ, 1991).
Les normes de qualité de l'eau doivent répondre aux impératifs de santé publique et de sécurité hydrique

Tableau 6. Valeurs normatives du pH selon les organismes de référence

Organisme / Norme	pH min	pH max
OMS (2022)	6,5	8,5
Algérie (NA 6360)	6,5	9,0
Eaux naturelles algériennes	6,8	8,8

II.1.4. Résidu Sec

Le résidu sec (RS), également appelé TDS (Total Dissolved Solids), représente la masse totale des substances dissoutes restant après évaporation de l'eau et séchage à 105°C pendant 1 heure **(**norme NF EN 872). Il est exprimé en mg/L ou g/L.

Tableau 7. Classification des eaux algériennes selon leur Résidu Sec

RS (mg/L)	Classification	Potabilité
< 200	Eau douce oligominérale	Excellente
200 – 500	Eau douce mésomérale	Très bonne
500 – 1000	Eau moyennement minéralisée	Bonne à acceptable
1000 – 1500	Eau minéralisée	Limite OMS
1500 – 3000	Eau saumâtre légère	Non potable
> 3000	Eau très saumâtre / salée	Rejet / dessalement

Selon le tableau 7, une eau est considérée de qualité optimale en dessous de 500 mg/L, tandis qu'au-delà de 1000 mg/L, elle atteint la limite fixée par l'OMS, et devient impropre à la consommation humaine directe au-delà de 1500 mg/L, nécessitant alors un traitement de dessalement.

II.2. Caractéristiques Chimiques des Eaux

II.2.1. Paramètres globaux de minéralisation

- **Dureté totale (TH)**

La dureté totale (Titre Hydrotimétrique) mesure la concentration en ions calcium Ca^{2+} et magnésium Mg^{2+} dissous dans l'eau. Elle s'exprime en °f (degrés français) ou en mg/L de $CaCO_3$. Le tableau 8 donne la classification des eaux en fonction de leur dureté

$$1\ °f = 10\ mg/L\ CaCO_3 = 0{,}1\ mmol/L$$

Tableau 8. Classification dureté totale

Classification TH (°f)	Spécificité de l'eau
< 7	Eau très douce
7 – 14	Eau douce
15 – 22	Eau moyennement dure
22 – 32	Eau dure
> 32	Eau très dure

- **Titre Alcalimétrique Complet (TAC)**

Le TAC quantifie la capacité neutralisante de l'eau vis-à-vis des acides forts. Il reflète principalement la concentration en bicarbonates HCO_3^-, mais aussi en carbonates CO_3^{2-} et en hydroxydes OH^-.

Relation TAC / TH :

- Si TAC ≈ TH → eau en équilibre calco-carbonique (eau naturelle typique)
- Si TAC > TH → excès d'alcalinité (présence de Na^+, K^+ associés aux bicarbonates)
- Si TAC < TH → eau agressive, susceptible de dissoudre les carbonates

II.2.2. Cations majeurs

- **Magnésium (Mg^{2+})**

Le magnésium est l'élément le plus abondant après le calcium le comparant au sodium et potassium. Il peut avoir deux sources, qui sont les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique et la dissolution du MgSO4 des terrains gypseux du trias (Sahraoui., 2015).

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

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répondu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates, c'est un composant majeur de la dureté totale de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables, il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre sous forme de sulfates, de chlorures…etc. Les eaux qui dépassent les 500 mg/l présentent de sérieux inconvénients pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières **(**Khelili et al., 2015).

- **Potassium (**K^+) :

Le potassium, est un métal alcalin, étroitement rattaché au sodium à tel point, qu'il est rarement analysé comme un constituant à part dans les analyses de l'eau, sa présence est moins répandue dans la nature (Kemmer., 1984).

- **Sodium (**Na^+**) :**

Le sodium est un métal alcalin, les eaux très riches en sodium deviennent saumâtres, prennent un goût désagréable et ne peuvent pas être consommées (Rodier., 2009).
Le sodium joue un rôle important en agriculture pour l'irrigation, du fait de son action positive sur la perméabilité des sols. Le sodium est un minéral essentiel pour le maintien de l'équilibre hydrique de l'organisme, il participe également à l'équilibre acidobasique qui donne au sang un pH stable, il faut donc le consommer en quantité suffisante mais sans excès (Rodier., 2009)

- **Ammonium** (NH_4^+)

Dans l'eau, l'azote soluble se retrouve sous deux formes : l'ion ammonium (NH_4^+), et la seconde non dissociée communément appelée ammoniaque (NH_3). Concernant la toxicité de l'ammoniaque, il est reconnu que ce n'est pas la forme ammoniaque ionisée qui est toxique, mais celle non ionisée dont la proportion dépend du pH et de la température **(**Rodier., 2009).

II.2.3. Anions majeurs :

- **Chlorures (**Cl^-**)**

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution, ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh., 2011).

- **Phosphate (**PO_4^{3-}**)**

Le phosphate est un élément naturel dans l'eau, où sa concentration est à peu près constante, sauf dans certains contextes géologiques particuliers où elle atteint 20 à 25mg/l **(**Boutouba., 2019).

- **Sulfate (**SO_4^{2-}**)**

Composé naturelle des eaux, les ions sulfates (SO_4^{2-})) sont liés aux cations majeurs qui sont : calcium, magnésium et sodium, la plupart des sulfates sont solubles dans l'eau. Ils peuvent néanmoins être réduits en sulfure volatilisés dans l'air en sulfure hydrogène Selon l'intolérance des consommateurs, l'excès des sulfates dans l'eau entraine des troubles intestinaux, les concentrations admissibles sont de l'ordre de 400mg/l (Rodier., 2009).

- **Nitrates et Nitrites (**NO_3^-**,** NO_2^-**)**

Les nitrates proviennent de l'oxydation complète de l'azote organique et les nitrites de l'oxydation incomplète (Mazara., 2015). Une augmentation générale de la concentration dans les eaux brutes doit être éliminée si elle est supérieure à la norme.

- **Bicarbonates (**HCO_3^-**,)**

  Les bicarbonates sont d'origines diverses et n'ont pas de rôle prépondérant direct sur la santé, par contre ils donnent par les cations auxquels ils sont liés (sodium et calcium) un goût souvent salé

II.2.4. Autres paramètres :

- **Oxygène dissous**

L'oxygène dissous (OD) représente la quantité d'oxygène moléculaire (O_2) présente dans l'eau sous forme dissoute.
Dans les eaux minérales naturelles et les eaux de source, la teneur en oxygène dissous varie selon l'origine hydrogéologique (tableau 9) :

Tableau 9. Variabilité de l'oxygénation des eaux naturelles et souterraines

type d'eau	Teneur typique en O_2 (mg/L)
Eau de surface bien oxygénée	8 – 12 mg/L
Eau souterraine peu profonde	2 – 8 mg/L
Eau souterraine profonde (captive)	< 1 mg/L (voire anoxique)
Eau minérale embouteillée	variable selon l'aquifère

Les eaux embouteillées issues de nappes profondes présentent souvent de faibles teneurs en O_2 dissous du fait de l'absence de contact avec l'atmosphère et des réactions d'oxydoréduction en milieu confiné. Il n y a pas de seuil en O_2 dissous dans les eaux embouteillées (ni par le Décret algérien n° 11-219 du 12 juin 2011, ni par les directives de l'OMS).

Un faible O_2 dissous peut indiquer une activité microbienne ou une dégradation de matière organique dans la source ou lors du conditionnement.
La teneur en O_2 est en relation directe avec le potentiel d'oxydoréduction, qui renseigne sur le caractère oxydant ou réducteur du milieu aquatique.

II.3. Caractéristiques Bactériologiques des Eaux Embouteillées en Algérie

La présence de micro-organismes (bactéries, virus et parasites) dans les eaux de consommation est le plus souvent due à une dégradation de la qualité de la ressource en eau, à une mauvaise protection ou un manque d'entretien des ouvrages, de captage, à une défaillance du traitement de désinfection ou à une contamination de l'eau lors de son transport ou stockage dans le réseau (Regideso, 2015 ; Idrissa, 2013 ; J. Rodier et al, 2009).

II.3.1. Importance de l'analyse microbiologique

L'analyse microbiologique des eaux embouteillées constitue un volet indispensable de l'évaluation de leur qualité et de leur innocuité pour la santé publique. Contrairement aux paramètres physico-chimiques qui renseignent sur la composition minérale et chimique de l'eau, les analyses bactériologiques visent à détecter la présence de micro-organismes pathogènes ou indicateurs de contamination fécale susceptibles d'engendrer des risques sanitaires graves pour le consommateur.

Les eaux destinées à la consommation humaine, qu'elles soient distribuées en réseau ou conditionnées en bouteilles, doivent répondre à des exigences microbiologiques strictes.

Dans le cas des eaux embouteillées, la qualité bactériologique revêt une importance particulière dans la mesure où ces eaux sont fréquemment consommées sans traitement préalable ni

ébullition, notamment par des populations vulnérables telles que les nourrissons, les femmes enceintes et les personnes immunodéprimées.

Toute défaillance dans la chaîne de production, de conditionnement ou de stockage peut ainsi compromettre l'intégrité microbiologique du produit final et exposer le consommateur à des risques infectieux.

Les germes recherchés dans le cadre du contrôle réglementaire des eaux embouteillées en Algérie, conformément au Décret exécutif n° 11-219 du 12 juin 2011, incluent principalement les germes aérobies revivifiables à 22°C et 37°C, les coliformes totaux, Escherichia coli, les streptocoques fécaux (entérocoques), les anaérobies sulfito-réducteurs ainsi que *Pseudomonas* aeruginosa. La présence de l'un quelconque de ces indicateurs traduit une contamination d'origine fécale ou environnementale et disqualifie le produit pour la mise sur le marché.

L'analyse microbiologique s'inscrit ainsi comme un outil de surveillance incontournable, garant de la conformité des eaux embouteillées aux normes nationales et aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017).

II.3.2. Germes indicateurs et pathogènes recherchés

Un germe indicateur n'est pas nécessairement pathogène lui-même, mais sa présence signale une contamination d'origine fécale et donc un risque potentiel de présence de pathogènes. Un bon indicateur doit répondre aux critères suivants :

- Présent en grande quantité dans les matières fécales humaines et animales
- Absent dans les eaux non contaminées
- Survie similaire ou supérieure aux pathogènes dans l'environnement
- Facile à détecter par des méthodes standardisées et peu coûteuses
- Sans danger pour les analystes

L'évaluation bactériologique des eaux embouteillées repose sur la recherche et le dénombrement d'un ensemble de micro-organismes indicateurs et pathogènes, dont la présence ou l'absence renseigne sur le niveau de contamination fécale et l'hygiène des procédés de conditionnement

1. Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des bacilles Gram-négatifs, aérobies ou anaérobies facultatifs, oxydase-négatifs, capables de fermenter le lactose avec production de gaz et d'acide à 35–37°C en 24–48h. Ils appartiennent principalement aux genres : Escherichia, Klebsiella, Enterobacter, Citrobacter, Serratia

- Leur présence indique une contamination générale de l'eau, d'origine fécale ou environnementale
- Ils peuvent survivre dans l'environnement (sol, eau, végétaux) sans origine fécale obligatoire
- Ce sont des indicateurs de l'efficacité du traitement (filtration, désinfection)
- En eau embouteillée : Leur présence traduit une défaillance du procédé de conditionnement ou une contamination post-traitement. La norme exige 0 UFC/100mL.



Figure 3. Bactérie coliforme *(Source : site internet)*

2. Escherichia coli (E. coli)

E. coli est la seule bactérie coliforme exclusive des tractus intestinaux des homéothermes (humains et animaux à sang chaud). C'est l'indicateur de contamination fécale récente par excellence, car :

- Sa survie en dehors de l'intestin est limitée (quelques jours à semaines)
- Il ne se multiplie pas dans l'environnement aquatique
- Sa présence atteste d'une contamination fécale directe et récente

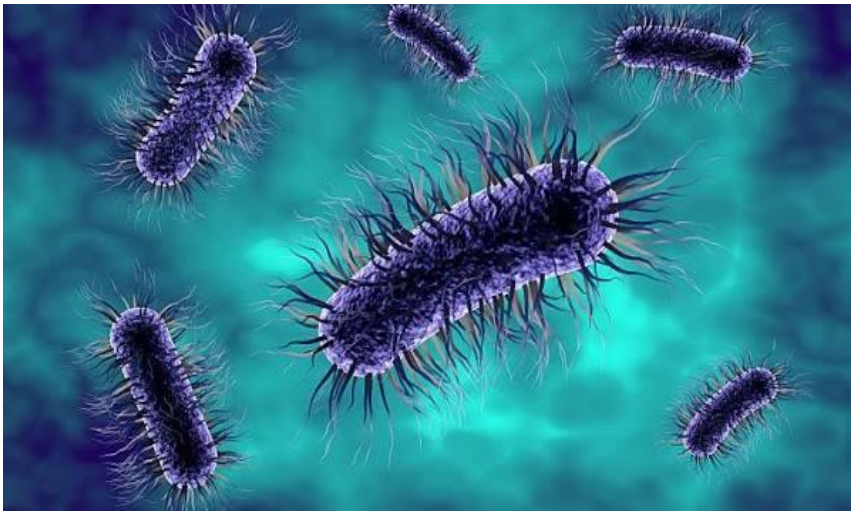


Figure 5. Bactérie E. coli *(Source : site internet)*

3. Entérocoques fécaux

Les entérocoques (anciennement Streptococcus du groupe D de Lancefield) sont des cocci Gram-positifs, aéro-anaérobies, catalase-négatifs. Les espèces indicatrices sont :

- Enterococcus faecalis (origine essentiellement humaine)
- Enterococcus faecium (humaine et animale)

Ces micro-organismes sont caractérisés par :

- Survie plus longue que E. coli dans l'environnement aquatique (2 à 3 fois plus)
- Meilleure résistance au chlore et aux traitements physiques
- Indicateur de choix pour les pollutions anciennes ou les eaux où E. coli aurait disparu
- Permet de détecter des contaminations non révélées par les coliformes seuls

La présence d'entérocoques en l'absence d'E. coli peut indiquer une contamination ancienne avec disparition progressive des coliformes, ou une contamination survenue dans un milieu hostile à E. coli (salinité, pH extrême).

Norme : 0 UFC/100 mL

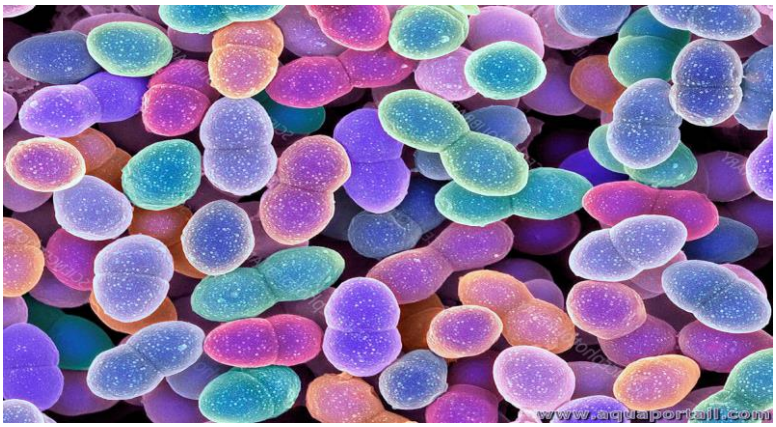


Figure 4. Bactérie Escherichia coli *(Source : site internet)*

4. Clostridium sulfito-réducteurs

Bactéries anaérobies strictes, Gram-positives, sporulées, capables de réduire les sulfites en sulfures (noircissement du milieu de culture). L'espèce de référence est Clostridium perfringens.

Les spores de Clostridium sont extrêmement résistantes :

- Résistance à la chloration classique
- Survie pendant des mois à des années dans l'eau
- Résistance à la dessiccation, chaleur (spores thermorésistantes jusqu'à 100°C)

Indicateurs de :

- Contamination fécale ancienne ou intermittente leur présence sans E. coli signe une contamination passée dont les formes végétatives ont disparu mais les spores persistent
- Défauts de filtration leur taille (> 3 µm) permet de les retenir sur membrane ; leur passage indique une filtration défaillante
- Contamination par des eaux de surface (les spores y sont abondantes)
- Norme en eau embouteillée : 0 spore/100 mL.



Figure 5. Bactérie Clostridium sulfito-réducteurs *(Source : site internet)*

II.3.4. Normes bactériologiques applicables

L'alignement strict entre la réglementation algérienne (Décret 11-125) et les directives de l'OMS met en évidence l'harmonisation des exigences de sécurité sanitaire pour les eaux de consommation. Cette absence absolue de germes pathogènes ou indicateurs d'une pollution fécale (0 UFC/100 mL) réaffirme le niveau d'exigence maximal imposé pour garantir la protection de la santé publique (Tableau 10).

Tableau 10. Normes pour les eaux embouteillées

Paramètres microbiologiques	Norme OMS	Norme algérienne (Décret exécutif n° 11-125)
Coliformes totaux	0 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL
Escherichia coli (E. coli)	0 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL
Entérocoques intestinaux	0 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL
Clostridium perfringens sulfito-réducteurs	0 spore/100 mL	0 spore/100 mL

III. Conclusion

Ce second chapitre synthétise les fondements de la classification réglementaire et les critères physico-chimiques et bactériologiques fondamentaux régissant la potabilité et le conditionnement des eaux embouteillées en Algérie.

La distinction stricte opérée par le décret exécutif n° 04-196 entre les eaux minérales naturelles (caractérisées par une pureté originelle et une stabilité chimique rigoureuse liée à un transit profond), les eaux de source (soumises à des traitements d'épuration plus étendus) structurent la filière hydro-économique nationale.

L'étude montre que la minéralisation globale (exprimée par la conductivité et le résidu sec) ainsi que l'équilibre hydrochimique (TH, TAC, balance ionique) découlent de l'interaction eau-roche.

Parallèlement, le volet microbiologique impose une obligation de conformité absolue ("tolérance zéro") pour les germes indicateurs de contamination fécale (E. coli, entérocoques, Clostridium sulfito-réducteurs) et les pathogènes comme Pseudomonas aeruginosa.

Les risques de contamination identifiés à la source, au conditionnement et au transport mettent en évidence la nécessité d'un suivi analytique continu pour valider la stabilité chimique, prévenir les risques de santé publique et répondre aux défis d'emballage plastique (PET) via les nouvelles perspectives de recyclage de l'APAB et des cadres législatifs récents.

CHAPITRE III

ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

I. Répartition par zones productrices des marques d'eaux étudiées

Le nord algérien recèle un patrimoine remarquable de sources minérales naturelles, dont l'exploitation pour l'embouteillage est réglementée par la législation en vigueur. Les principales zones productrices sont :

- Nord-ouest (wilaya d'Oran, Tlemcen, Saïda, Mascara) : région de la source Saïda
- Centre-nord (wilaya de Blida, Médéa, Bouira) : sources des massifs calcaires de l'Atlas blidéen. Comme L'eau minérale Chréa (puisée au cœur du parc national).
- Kabylie et nord-est (wilaya de Béjaïa, Jijel, Skikda) : sources d'Ifri (Ighzer Amokrane), de Lalla Khedidja (Aïn Zaouïa), de Soummam.
- Nord-est intérieur (wilaya de Sétif, Batna) : sources de la région des Aurès. Source Ania, Mahbouba

I.1. Identification et origine géographique des eaux embouteillées analysées

Les eaux embouteillées analysées couvrent trois grands domaines hydrogéologiques d'Algérie, allant des aquifères karstiques et de sources de montagne peu minéralisés de la Kabylie et du littoral (Tizi Ouzou, Béjaïa, Jijel) aux réservoirs sédimentaires et de plaines de l'intérieur (Guelma, Oum El Bouaghi). Ce transect Nord-Sud se termine par la région charnière de Biskra, marquée par les nappes alluvionnaires atlasiques et les grands aquifères profonds de la transition saharienne.

Ces régions sont caractérisées par des aquifères carbonatés et alluviaux, dont les caractéristiques géochimiques influencent directement la composition minérale des eaux.
Les 7 échantillons d'eaux embouteillées considérés ont été analysés durant la période allant du 7 au 24 avril 2026 à partir de points de vente et de circuits de distribution officiels. Tous les échantillons présentaient une date de péremption valide et un conditionnement intact au moment de l'acquisition.

I.1.1. Eaux minérales analysées

Quatre eaux minérales naturelles (EMN) ont été retenues pour cette étude. Une eau minérale naturelle se définit, selon la réglementation algérienne et européenne, comme une eau souterraine bactériologiquement saine, ayant une composition minérale constante et des propriétés susceptibles d'avoir des effets favorables sur la santé (figure 7).

- **Ifri**

L'eau minérale naturelle Ifri est captée à Ighzer Amokrane, commune d'Aokas, dans la wilaya de Béjaïa. Elle jaillit d'un aquifère calcaire du Crétacé du massif kabyle. Sa composition physico-chimique est stable et équilibrée, avec un faciès bicarbonaté calcique et un pH neutre avoisinant 7,0. Son résidu sec à 180°C est d'environ 500 à 600 mg/L, ce qui la classe parmi les eaux moyennement minéralisées. Ifri est la marque leader sur le marché algérien, détenant près de 30 % des parts de marché national.

- **Guedila**

L'eau minérale naturelle Guedila prend sa source au pied du mont Guedila, dans la chaîne de l'Aurès, sur la commune de Djemorah, wilaya de Biskra. Elle bénéficie d'une filtration naturelle assurée par les roches calcaires de l'Aurès. Son éloignement de toute activité agricole ou

industrielle lui confère une pureté élevée. Son faciès chimique est de type bicarbonaté calcique et magnésien, avec une minéralisation modérée adaptée à une consommation quotidienne

- **Texanna**

L'eau minérale naturelle Texanna commercialisée, est captée dans la wilaya de Jijel, dans les massifs calcaires et gréseux de la chaîne des Babors et du littoral jijelien. Elle circule dans des aquifères de nature calcaire appartenant aux formations crétacées et jurassiques du nord-est algérien, lui conférant une minéralisation faible à modérée avec dominance des ions bicarbonates et calcium. Son faciès hydrochimique est de type bicarbonaté calcique, caractéristique des eaux souterraines de la zone montagnarde côtière du nord-est de l'Algérie

- **Lalla Khedidja**

L'eau minérale naturelle Lalla Khedidja est captée sous le massif du Djurdjura, dans la wilaya de Tizi Ouzou. Elle constitue l'une des eaux les plus faiblement minéralisées d'Algérie, avec un résidu sec à 180°C d'environ 187 mg/L, ce qui la classe dans la catégorie des eaux oligo-minérales. Son faciès chimique est bicarbonaté calcique faible, en lien avec la nature cristalline du socle géologique du Djurdjura. Elle figure parmi les cinq marques leaders du marché algérien, représentant collectivement 70 % des parts de marché.

I.1.2. Eaux de source analysées

Trois eaux de source (ES) complètent le panel d'analyse. Une eau de source se distingue de l'eau minérale par l'absence de reconnaissance officielle de propriétés thérapeutiques, bien qu'elle soit également d'origine souterraine et protégée de toute pollution.

- **Besbessa**

L'eau de source Besbessa est exploitée dans la wilaya de Guelma, dans le nord-est de l'Algérie. Cette région est caractérisée par des formations géologiques triasiques et jurassiques riches en carbonates et en sulfates. L'eau circule dans des aquifères calcaires et dolomitiques qui lui confèrent une minéralisation moyennement élevée, avec dominance des ions calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et bicarbonates (HCO_3^-). Son faciès hydrochimique est de type bicarbonaté calcique et magnésien.

- **Togi**

L'eau de source Togi est captée dans la wilaya d'Oum El Bouaghi, sur les Hauts Plateaux de l'Est algérien. Elle circule dans des formations sédimentaires calcaires et marneuses caractéristiques de cette région, lui conférant une minéralisation modérée à dominance sulfatée et bicarbonatée. Sur le plan réglementaire, il a été relevé dans la littérature que le résidu sec indiqué sur son étiquette est mesuré à 105°C au lieu des 180°C exigés par la réglementation algérienne en vigueur, ce qui constitue une non-conformité d'étiquetage.

- **Soummam**

L'eau de source Soummam est captée dans le bassin versant de l'oued Soummam, dans la vallée du même nom, wilaya de Béjaïa. Ce bassin sédimentaire, d'axe sud-ouest nord-est, est encaissé entre les massifs de la Grande Kabylie et des Babors. L'eau circule dans les formations

alluviales quaternaires et néogènes de la plaine de la Soummam, lui conférant un faciès bicarbonaté calcique avec une minéralisation modérée influencée par la nature détritique de l'aquifère.

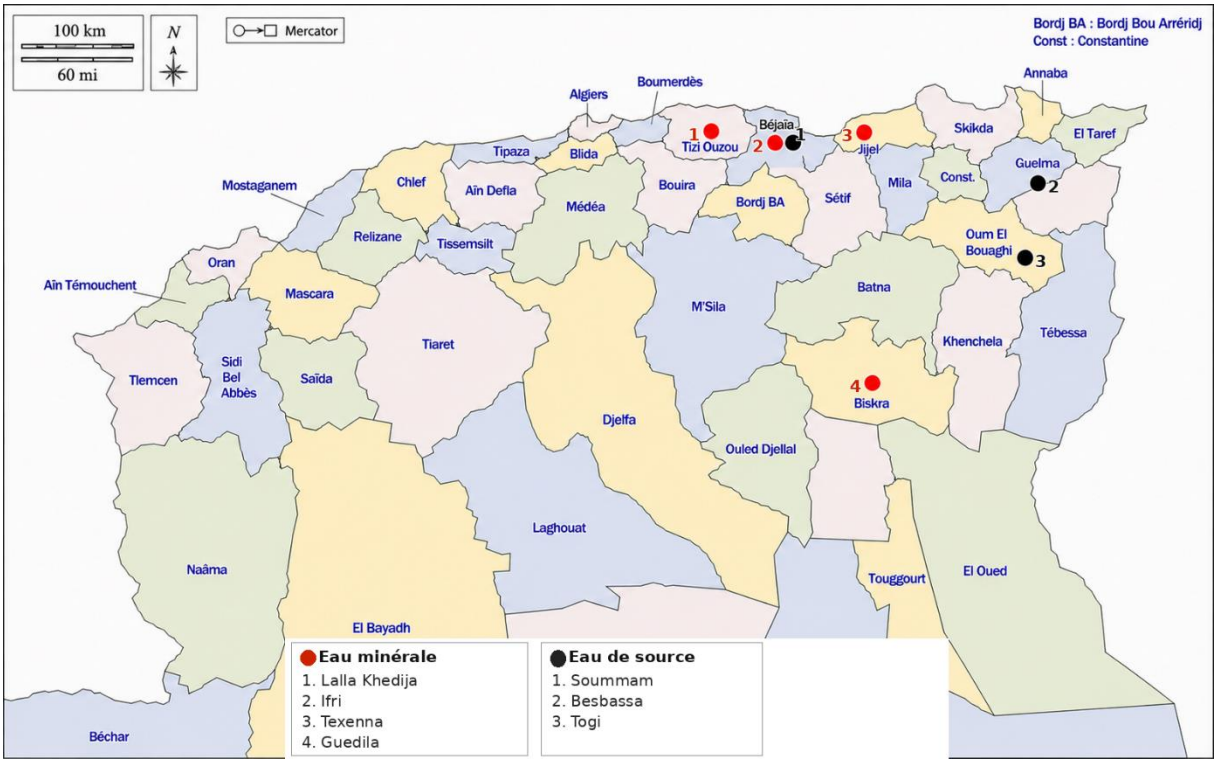


Figure 07. Répartition par zones productrices des marques d'eaux étudiées

L'examen de la figure 7 montre la répartition géographique des unités de conditionnement en Algérie et met en évidence le lien étroit entre la localisation des usines et les potentialités hydrogéologiques des différentes régions du pays.

La wilaya de Béjaïa, véritable pôle de l'industrie des boissons qui abrite des marques majeures telles que Ifri et Soummam, bénéficie de conditions géologiques exceptionnelles liées aux massifs de l'Atlas tellien. Ces structures montagneuses fracturées constituent des zones de recharge idéales, particulièrement favorables à l'émergence de gisements d'eaux de source et d'eaux minérales de haute qualité sanitaire.

À l'inverse, des marques comme Guedila, implantée dans la wilaya de Biskra, démontrent que malgré un climat aride aux portes du Sahara, les aquifères profonds de ces régions recèlent des ressources souterraines précieuses et fortement protégées contre les contaminations de surface.

Cette dispersion des points de prélèvement à travers le territoire national engendre une grande hétérogénéité des faciès chimiques, qui reflète directement la diversité des paysages géologiques algériens.

La composition ionique finale de l'eau dépend de la nature des roches traversées et du temps de séjour de la ressource au sein de l'aquifère :

- Les eaux à faible minéralisation : Des marques comme Lalla Khedidja (massif du Djurdjura) et Besbassa se distinguent par une minéralisation globale très légère. Leur

faible résidu sec indique un transit souterrain rapide à travers des formations géologiques peu solubles, offrant une eau idéale pour les nourrissons ou les régimes hyposodés.

- Les eaux à minéralisation modérée et riches en Calcium **:** Les marques Ifri, Soummam et Texanna présentent un profil minéral équilibré, dominé par le calcium et les bicarbonates. Cette signature chimique démontre une interaction prolongée de l'eau avec des formations rocheuses carbonatées (calcaires et dolomies).
- Les eaux à forte minéralisation **:** À l'extrémité du spectre, la marque Guedila (et dans une certaine mesure Togi) affiche une charge minérale beaucoup plus soutenue. Ce profil témoigne d'un lessivage de couches géologiques plus solubles, enrichies en sédiments évaporitiques, répondant ainsi aux attentes des consommateurs à la recherche d'un apport minéral spécifique.

L'analyse comparative de ces sept marques met en lumière la richesse du patrimoine hydrogéologique algérien. Elle montre comment les variations lithologiques des nappes, de la Kabylie aux régions présahariennes, dictent l'identité physico-chimique et bactériologique de chaque bouteille d'eau mise sur le marché.

II. Analyses bactériologiques

II.1. Analyse des coliformes totaux et E. coli

La recherche et le dénombrement des coliformes totaux et d'Escherichia coli ont été effectués par la méthode de filtration sur membrane (0,45 µm, porosité cellulose) selon la norme NF EN ISO 9308-1. Les membranes sont déposées sur milieu gélosé sélectif Chromocult (Merck) ou TBX (Tryptone Bile X-glucuronide) et incubées à 37°C pendant 24h (coliformes totaux) puis à 44°C pendant 24h supplémentaires (E. coli).

Les colonies roses/rouges (coliformes totaux) et bleu-vert foncé (E. coli, activité β-glucuronidase) sont dénombrées. Les résultats sont exprimés en UFC/100 mL.

II.2. Analyse des entérocoques fécaux

Les entérocoques fécaux sont recherchés selon la norme NF EN ISO 7899-2. La méthode de filtration sur membrane est utilisée ; les membranes sont incubées sur milieu Slanetz & Bartley à 37°C pendant 48h. Les colonies caractéristiques (rose à rouge brique) sont confirmées par transfert sur gélose à l'esculine azide de sodium à 44°C pendant 2h.

Les entérocoques hydrolysent l'esculine en présence de citrate de fer donnant un noircissement du milieu. Les résultats sont exprimés en UFC/100 mL.

II.3. Analyse des Clostridium sulfito-réducteurs

Les Clostridium sulfito-réducteurs (CSR), dont Clostridium perfringens, sont des indicateurs de contamination fécale ancienne et de la résistance aux traitements de désinfection.

La recherche est réalisée après traitement thermique préalable de l'échantillon (75°C pendant 15 min) pour éliminer la flore végétative non sporulée

Les spores survivantes sont ensemencées en milieu gélosé Tryptose Sulfite Cycloserine (TSC) en conditions anaérobies strictes (jarre à anaérobiose avec sachet Anaerogen), incubation à 37°C pendant 48 à 72h.

Les colonies noires sont dénombrées. Résultats exprimés en spores/100 mL. Norme : NF EN 26461-2

L'absence stricte de ces différents germes indicateurs dans les volumes de référence confirme la conformité microbiologique totale requise pour l'eau de consommation. L'application de ces méthodes standardisées (filtration, milieux sélectifs et anaérobiose) garantit ainsi une fiabilité optimale du contrôle de potabilité (Tableau 11).

Tableau 11. Normes de conformité et méthodes d'analyse microbiologique des eaux embouteillées

Paramètre microbiologique	Valeur limite	Volume de référence	Méthode
Coliformes totaux	0	250 mL	Filtration membrane
Escherichia coli	0	250 mL	Filtration membrane (44°C)
Entérocoques fécaux	0	250 mL	Slanetz et Bartley
Clostridium sulfito-réducteurs	0	50 mL	Anaérobie strict

II.4. Paramètres d'incubation et critères de lecture

Ce protocole met en place un suivi rigoureux de l'environnement de production (rampe, surfaces, air) couplé à la recherche de germes indicateurs de contamination fécale et bactérienne.

L'utilisation de milieux de culture spécifiques et de conditions d'incubation ciblées permet d'assurer un contrôle analytique précis de la flore, conformément aux exigences réglementaires strictes de la législation algérienne.

L'ensemble de ce dispositif vise à garantir le respect absolu des normes de potabilité microbiologique, assurant ainsi la sécurité sanitaire et la qualité commerciale de l'eau embouteillée en Algérie avant sa mise sur le marché. (Tableau 12)

Tableau 12 : Protocole d'analyse microbiologique de l'eau embouteillée

Cible	Milieu de culture	Conditions	Résultat (-)	Résultat (+)	Test confirmatif	Norme (UFC/100 mL)
Contrôle rampe	TSA (Tryptic Soy Agar)	37°C, 24 h	Aucune colonie	Développement de flore	—	0 UFC/100 mL
Contrôle surfaces	TSA	37°C, 48 h	Aucune colonie	Colonies visibles	—	≤10 UFC/100 mL
Contrôle air	TSA	37°C, 48 h	Aucune colonie	Colonies visibles	—	≤15 UFC/100 mL
Coliformes totaux	CCA	36°C, 24 h	Aucune colonie	Colonies roses	Test Oxydase (-)	0 UFC/100 mL
E. coli	CCA	36°C, 24 h	Aucune colonie	Colonies bleu-violet	—	0 UFC/100 mL
Entérocoques	Slanetz & Bartley	36°C, 48 h	Aucune colonie	Colonies rouge brique	Ensemencement sur milieu BEA	0 UFC/100 mL
Clostridium (spores)	TSC	37°C, 48 h (anaérobiose)	Aucune colonie	Colonies noires	—	0 UFC/100 mL

III. Analyses physico-chimiques sur l'étiquette

Conformément à la réglementation algérienne, les caractéristiques physico-chimiques des eaux embouteillées doivent obligatoirement figurer sur l'étiquetage des produits commercialisés.

Ces données sont établies à partir d'analyses effectuées par des laboratoires de référence agréés, à savoir l'Institut Pasteur d'Algérie (IPA), l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et le Centre National de Toxicologie (CNT).

Le tableau 13 présente les caractéristiques physico-chimiques des eaux étudiées, relevées sur la base des étiquetages les plus récents (2026). Ce tableau synthétise les concentrations des anions et cations, la teneur en fluor, la valeur du pH ainsi que la concentration totale des résidus secs (RS) à 180°C, exprimée en mg/L.

Les paramètres physico-chimiques ont été réalisées sur les sept marques d'eaux embouteillées commercialisées en Algérie, à savoir : Ifri, Guedila, Texanna et Lalla Khedija (eaux minérales naturelles), ainsi que Togi, Besbessa et Soummam (eaux de source)

Tableau 13. Résultats des analyses chimiques des étiquettes des eaux étudiées

	Eaux /unité		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NO_2^{-}	F	pH	RS
Eaux sources	Besbassa	mg/l	54,16	2,64	5	2	10	164,7	4	9	<0,01	/	7.29	206
		méq/l	2,7026	0,2172	0,2175	0,0512	0,2821	2,6991	0,0833	0,1452	0,0002			
	Togi	mg/l	73,41	19,25	36	1,8	43,76	183,6	28,9	5,93	<0,01	/	7.46	365
		méq/l	3,6632	1,5837	1,5659	0,0460	1,2344	3,0098	0,6017	0,0956	0,0002			
	Soummam	mg/l	114	32	71	2	78	293	196	19,2	<0,01	/	7.2	755
		méq/l	5,6886	2,6327	3,0883	0,0512	2,2003	4,8017	4,0808	0,3097	0,0002			
Eau minérales	Guedila	mg/l	78	37	29	2	40	309	95	4,5	<0,01	/	7.35	564
		méq/l	3,8922	3,0440	1,2614	0,0512	1,1283	5,0698	1,9779	0,0726	0,0002			
	Ifri	mg/l	99	29	38	2,1	129	265	68	15	<0,02	7,2	7.2	550
		méq/l	4,9401	2,3858	1,6529	0,0537	3,636	4,3428	1,4158	0,2419	0,0004	/		
	Texanna	mg/l	30	9,1	11	1	28,4	60	11	0	0	/	7	152
		méq/l	1,4970	0,748	0,4785	0,0256	0,8011	0,9836	0,2290	0	0			
	Lalle Khedidja	mg/l	49	5	3,1	0,4	07	168	3	5,94	0,03	/	7.42	178
		méq/l	2,4451	0,4114	0,1348	0,0102	0,1975	2,7532	0,0625	0,0958	0,0007			

III.1. Analyses physico-chimiques au laboratoire

III.1.1. Potentiel d'Hydrogène

Le potentiel d'hydrogène (pH) est un paramètre physico-chimique fondamental mesuré au laboratoire pour évaluer l'équilibre acido-basique de l'eau embouteillée en Algérie.
Les analyses potentiométriques effectuées révèlent des valeurs conformes aux exigences du Décret exécutif n° 11-125, qui fixe les limites de potabilité de l'eau de consommation entre 6,5 et 8,5.
Ces variations de pH, étroitement liées à la nature lithologique des aquifères d'origine, témoignent de l'équilibre entre les ions hydrogène libres et le système tampon carbonaté (bicarbonates) qui caractérise les ressources hydrogéologiques algériennes.

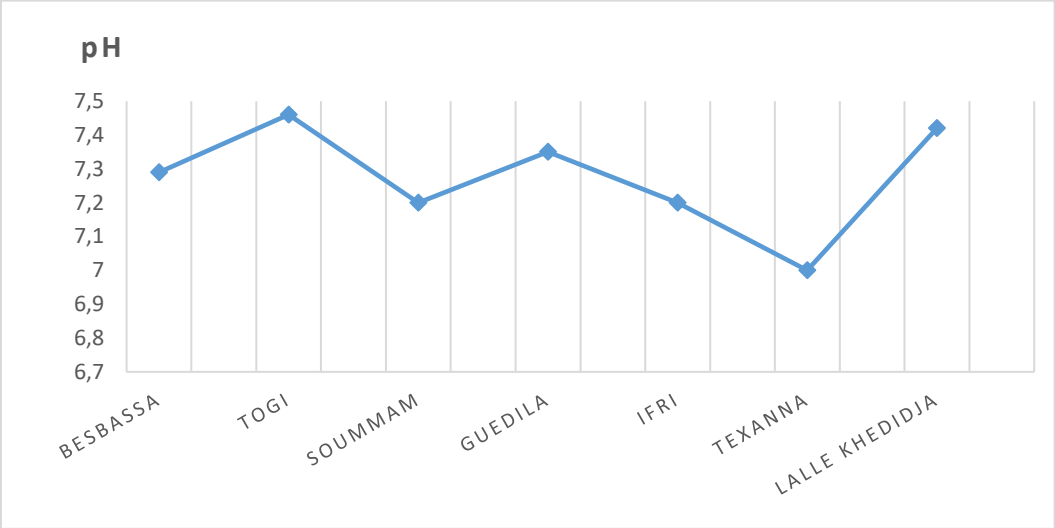


Figure 08. pH des eaux étudiées

L'ensemble des eaux étudiées présentent un pH largement conforme à la norme. Texanna (7,0) est la plus proche de la neutralité. Togi (7,46) et Lalla Khedidja (7,42) sont légèrement plus basiques, reflétant un tampon bicarbonaté actif. L'homogénéité des valeurs de pH entre 7,0 et 7,5 traduit des eaux chimiquement équilibrées, ni agressives ni entartrantes.

III.1.2. Résidu Sec

Le Résidu Sec a été déterminé par évaporation d'un volume connu d'eau et séchage à 180 °C jusqu'à masse constante. Cette méthode permet d'évaluer la quantité totale de matières dissoutes et constitue un indicateur du degré de minéralisation de l'eau.

La norme OMS fixe la valeur guide à 1500 mg/L, au-delà de laquelle l'eau peut présenter des effets organoleptiques défavorables.

D'après les données d'étiquettes disponibles, les sept marques étudiées présentent des niveaux de minéralisation très variables (figure 09).

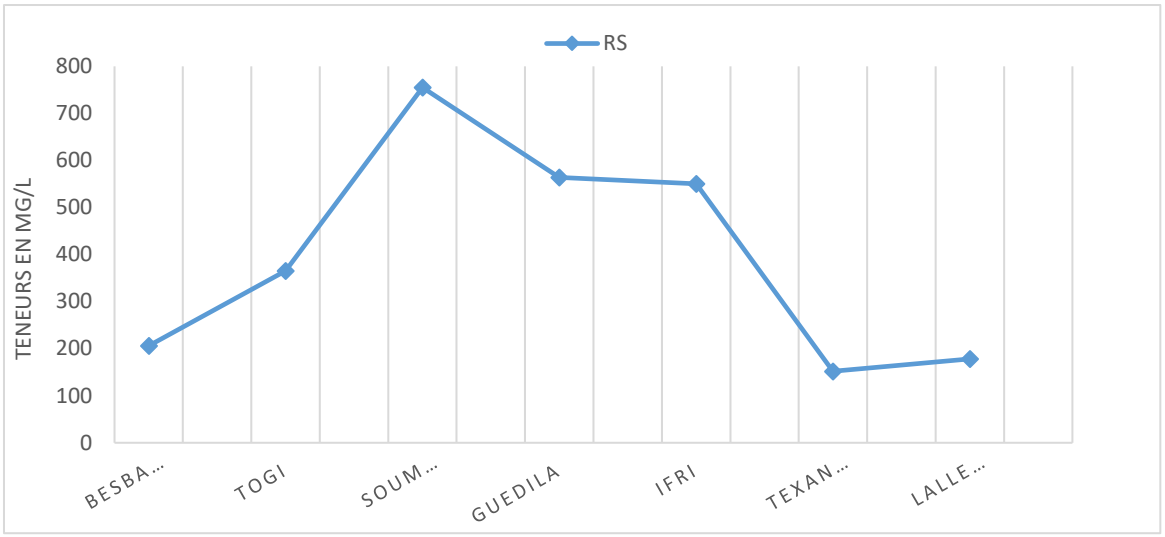


Figure 09. Résidus secs en mg/l des eaux étudiées

La marque Soummam affiche le RS le plus élevé (755 mg/L), suivie de Guedila (564 mg/L) et d'Ifri (550 mg/L), indiquant une minéralisation modérément élevée. Les marques Texanna (152 mg/L) et Lalla Khedija (178 mg/L) présentent les minéralisations les plus faibles. Ces faibles teneurs sont généralement favorables à la consommation humaine quotidienne.

III.1.3. Analyse des Indicateurs de Pollution Azotée

- **Les Nitrites**

La détermination en laboratoire est extrêmement sensible. Elle s'effectue par spectrophotométrie (méthode de Zambelli ou au réactif de Griess). Comme il s'agit d'un composé hautement toxique pour l'organisme humain, la réglementation algérienne impose un seuil de potabilité afin de prévenir les risques de toxicité comme la méthémoglobinémie.

Les nitrites sont absents dans l'ensemble des eaux analysées. Cette absence témoigne d'une bonne qualité sanitaire des eaux et de l'absence de pollution récente d'origine organique ou anthropique

- **Les Nitrates**

Les nitrates sont des anions qui constituent le principal indicateur de pollution anthropique, agricole ou industrielle des ressources en eau. Contrairement aux autres ions issus de la matrice rocheuse, leur présence dans l'eau embouteillée en Algérie doit être la plus faible possible.

Analysés par spectrophotométrie UV, leur concentration est soumise à une norme de potabilité internationale et nationale intransigeante de 50 mg/L (la teneur recommandée étant inférieure à 15 mg/L).

Les teneurs en nitrates varient entre 0 et 20 mg/L selon les eaux étudiées. La concentration la plus élevée est observée dans l'eau Soummam, tandis que l'eau Texanna présente une teneur nulle ; toutes les valeurs restent inférieures à la limite de l'OMS

.

III.1.4. Cations et anions

- **Le magnésium**

Le magnésium est déterminé indirectement par différence entre la dureté totale (Ca^{2+} + Mg^{2+}) et la teneur en calcium, ou par titrage complexométrique à l'EDTA en présence du Noir Ériochrome T à pH 10.

Toutes les marques sont conformes (norme ≤ 150 mg/L). Guedila (37 mg/L) et Togi (19,25 mg/L) présentent les teneurs les plus élevées, reflétant un contact avec des formations dolomitiques. Lalla Khedidja (5 mg/L) et Besbessa (2,64 mg/L) sont très faiblement magnésiennes

- **Le calcium**

Le calcium a été déterminé par titrage complexométrique à l'EDTA en milieu alcalin (pH ≈ 12) en présence de l'indicateur murexide. Le changement de couleur indique le point d'équivalence.

Toutes les marques sont bien en dessous de la limite OMS.

Lalla Khedija présente la teneur la plus élevée (67 mg/L), ce qui reflète une origine géologique riche en formations calcaires.

Les eaux minérales (Ifri, guedila, Lalla Khedija, Texanna) sont globalement plus calciques que les eaux de source : une eau minérale naturelle traverse des couches géologiques plus profondes et se charge davantage en ions Ca^{2+} (Figure10).

Soummam présente la teneur la plus élevée en calcium (114 mg/L), ce qui reflète une origine géologique riche en formations calcaires. Les eaux minérales (Ifri, Guedila, Lalla Khedidja, Texanna) présentent des profils variables. L'eau de source Texanna affiche la valeur la plus faible avec 30 mg/L. »

- **Le potassium**

Le potassium a été dosé par photométrie de flamme ou spectrométrie d'émission atomique selon les méthodes normalisées de contrôle de la qualité des eaux

Les teneurs observées (0.4–1.5 mg/L) sont tout à fait normales et ne présentent aucun risque sanitaire.

L'OMS fixe une limite de 12 mg/l. Ces faibles valeurs confirment également l'absence de pollution par des engrais potassiques (NPK), dont la contamination se manifesterait par des teneurs bien supérieures à 10 mg/L.

- **Le sodium**

La concentration en sodium a été mesurée par photométrie de flamme ou par spectrométrie d'émission atomique. L'intensité lumineuse émise est proportionnelle à la concentration du sodium dans l'échantillon. Toutes les marques présentent des teneurs en sodium très faibles, largement en deçà de la limite OMS.

C'est un point très positif : un sodium élevé dans l'eau de boisson est associé à l'hypertension artérielle et aux maladies cardiovasculaires. Les valeurs observées (3,1 à 71 mg/L) classent la majorité de ces eaux comme hyposodées, favorables aux nourrissons et aux insuffisants rénaux. L'absence de contamination par des sources anthropiques (déversements industriels, engrais) est confirmée par ces faibles teneurs.

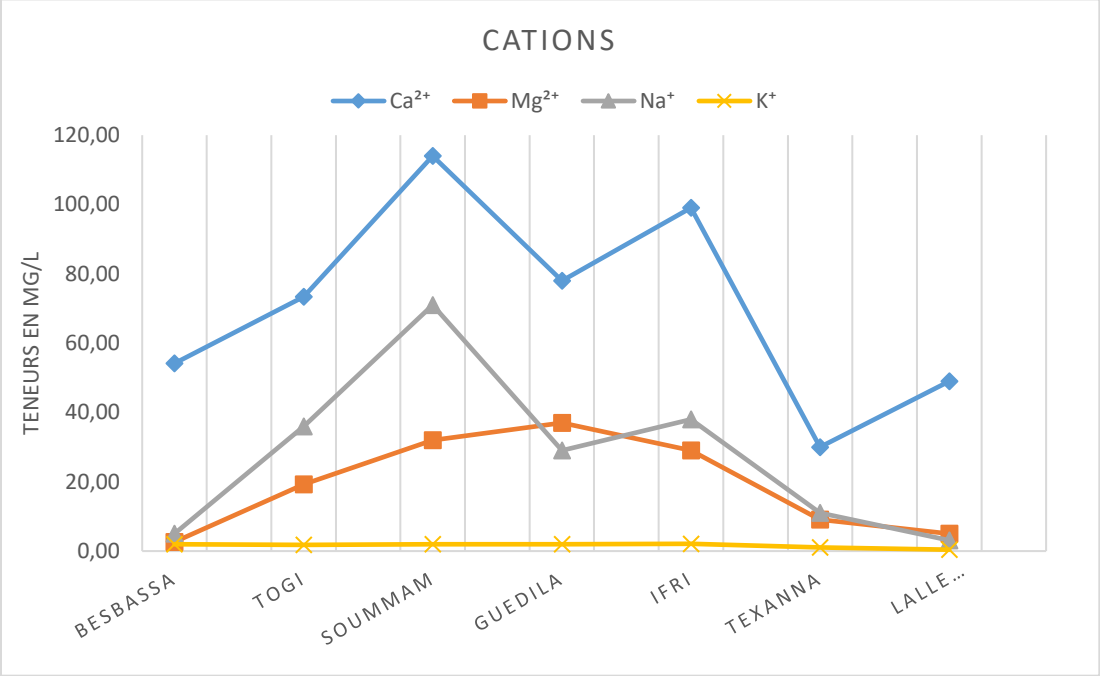


Figure 10. Cations des eaux étudiées

- **Les bicarbonates**

Sont le principal anion des eaux naturelles algériennes et le reflet direct de la dissolution des roches carbonatées (calcaires, dolomies)

Les bicarbonates ont été déterminés par titrage acido-basique à l'aide d'une solution d'acide sulfurique ou chlorhydrique de concentration connue. Le point final est obtenu à pH 4,5 à l'aide d'un indicateur coloré ou d'un pH-mètre.

Guedila (309 mg/L), Soummam (293 mg/L) et Ifri (265 mg/L) sont les plus chargées en bicarbonates, ce qui explique leur équilibre avec des structures lithologiques carbonatées.

Les bicarbonates jouent un rôle de tampon naturel du pH et participent à la santé digestive. Aucune des valeurs mesurées n'est problématique.

- **Les chlorures**

Les chlorures ont été dosés par la méthode argentométrique de Mohr. Cette méthode consiste à titrer l'échantillon par une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) en présence de chromate de potassium comme indicateur. Le point d'équivalence est caractérisé par l'apparition d'une coloration rouge brique.

Des concentrations élevées (> 250 mg/L) donnent un goût salé désagréable et peuvent être corrosives pour les canalisations métalliques.

Les marques étudiées présentent des teneurs étalées (7 à 129 mg/L), sans aucun problème organoleptique. Lalla Khedidja présente la valeur la plus faible (7 mg/L), Ifri la valeur la plus élevée (129 mg/L), sans pour autant dépasser le seuil de potabilité.

L'ensemble de ces valeurs confirme que les eaux embouteillées algériennes proviennent de nappes souterraines bien protégées, sans intrusion d'eaux salines.

- **Les sulfates**

Les sulfates ont été dosés par méthode turbidimétrique. Les ions sulfates réagissent avec le chlorure de baryum ($BaCl_2$) pour former un précipité de sulfate de baryum ($BaSO_4$). La turbidité produite est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre.

Soummam (196 mg/L) et Guedila (95 mg/L) présentent les teneurs les plus élevées. À haute concentration, les sulfates confèrent à l'eau un goût amer. Les valeurs algériennes sont toutes bien en dessous de ce seuil, sans aucun risque sanitaire. L'origine géochimique naturelle de ces sulfates est confirmée par leur faible concentration (Figure 11).

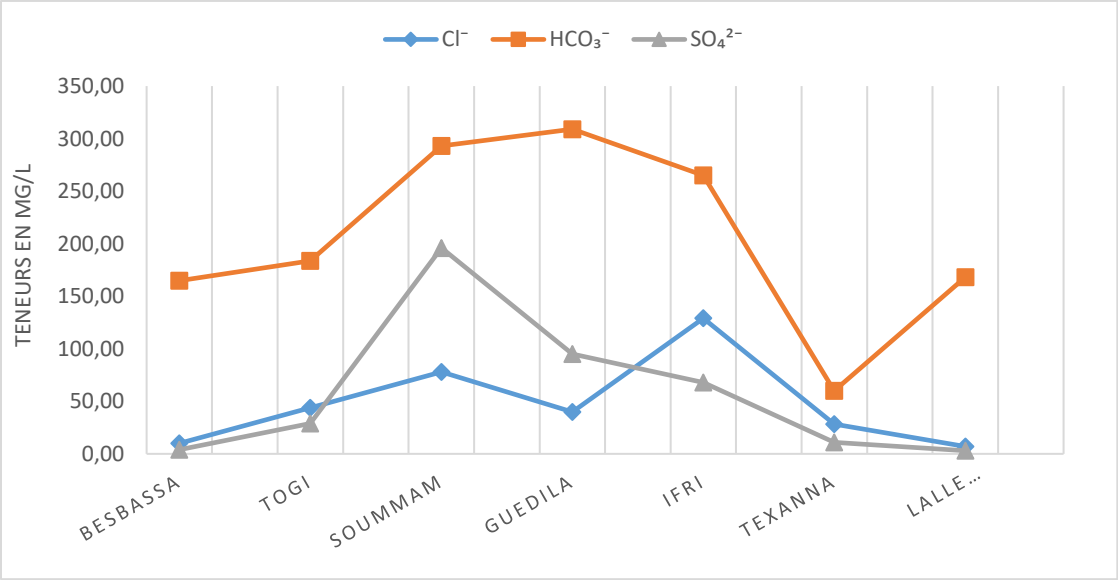


Figure 11. Anions des eaux étudiées

III.1.5. Conductivité électrique

La conductivité électrique CE est un paramètre physique fondamental mesuré en laboratoire pour évaluer la capacité d'une eau embouteillée à conduire le courant électrique. Exprimée en micro-siemens par centimètre et mesurée à une température de référence de 25°C à l'aide d'un conductimètre étalonné, elle est directement proportionnelle à la concentration globale en ions majeurs dissous dans l'eau.

La mesure de la conductivité permet au laboratoire d'obtenir une estimation rapide et fiable du degré de minéralisation de chaque marque algérienne, garantissant ainsi la stabilité de sa formule chimique et sa conformité vis-à-vis des limites réglementaires fixées par le Décret exécutif n° 11-125.

III.1.6. Turbidité

La turbidité est un paramètre physique essentiel mesuré en laboratoire pour évaluer la limpidité et la qualité esthétique de l'eau embouteillée en Algérie.

Quantifiée par néphélométrie (exprimée en NTU), elle traduit l'importance des matières en suspension (argiles, silts, colloïdes) qui diffusent la lumière à travers l'échantillon.

Le maintien d'une turbidité rigoureusement inférieure aux seuils fixés par le Décret exécutif n° 11-125 est un indicateur clé de l'efficacité des étapes de filtration en usine et garantit l'absence de microparticules susceptibles de servir de supports protecteurs pour le développement bactérien.

III.2. Analyses complémentaires associées

III.2.1. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)

Le Titre Alcalimétrique Complet est un indicateur hydrochimique essentiel mesuré au laboratoire pour évaluer la capacité tampon et la teneur en ions alcalins de l'eau embouteillée en Algérie.
Déterminé par titrage volumétrique en présence de rapports d'indicateurs colorés, il exprime principalement la concentration en ions bicarbonates et carbonates, majoritaires dans les systèmes aquifères algériens.

La maîtrise de ce paramètre est cruciale, car un TAC équilibré garantit non seulement la stabilité du pH de l'eau face aux agressions acides, mais atteste également de la signature minérale et de la conformité organoleptique du produit final avant son conditionnement.

III.2.2. Dureté Totale

La Dureté Totale TH constitue un paramètre hydrochimique fondamental mesuré en laboratoire pour quantifier la dureté totale de l'eau embouteillée en Algérie.

Déterminée par titrage complexométrique à l'EDTA. En milieu tamponné à pH 10, l'EDTA forme des complexes stables avec les ions calcium et magnésium. Le point d'équivalence est mis en évidence par un changement de couleur de l'indicateur Noir Ériochrome T.

L'analyse du TH permet non seulement de classifier l'eau (douce, moyennement dure ou dure), mais s'avère également cruciale pour anticiper les risques d'entartrage industriel lors du processus de conditionnement tout en garantissant l'équilibre minéral requis par les normes de consommation.

III.2.3. Ammonium

L'ammonium est un cation qui sert d'indicateur majeur de pollution récente et directe de la ressource hydrique par des effluents domestiques, industriels ou agricoles.

Dans les eaux souterraines destinées à l'embouteillage en Algérie, sa concentration doit être idéalement nulle ou proche des limites de détection du laboratoire.

Analysé principalement par spectrophotométrie d'absorption moléculaire (méthode de Berthelot ou au réactif de Nessler), le suivi de l'ammonium est capital : sa présence signale une dégradation de la qualité brute de la nappe et un risque immédiat de prolifération bactérienne dans les réseaux de conditionnement.

III.2.4. Fluorure

Les fluorures ont été dosés à l'aide d'une électrode sélective aux ions fluorures ou par méthode spectrophotométrique utilisant le réactif SPADNS. La concentration est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage.

IV. Résultats des analyses réalisées au laboratoire

IV.1. Paramètres physico-chimiques mesurées au laboratoire

En parallèle des mentions de l'étiquetage, une caractérisation physico-chimique de 07 échantillons d'eaux embouteillées a été réalisée au laboratoire de la SEOR (résultats présentés dans les tableaux 14, 15 et 16).

Si la confrontation des données physico-chimiques révèle des écarts parfois notables dus à la variabilité naturelle de la ressource ou aux conditions de stockage, le volet microbiologique requiert une vigilance stricte. En effet, la présence éventuelle de germes indicateurs de contamination altère non seulement la qualité du produit, mais constitue également un risque sanitaire direct pour le consommateur, en totale contradiction avec les exigences réglementaires de potabilité.

Tableau 14 : Résultats des analyses chimiques des eaux de minérale au laboratoire (Avril 2026)

Marque	Type	Unité	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NH_4^{+}	NO_2^{-}	F^{-}	pH	RS
Guedila	Étiquette	mg/l	78	37	29	2	40	309	95	4,5		<0,01	/	7,35	564
		méq/l	3,8922	3,0440	1,2614	0,0512	1,1283	5,0698	1,9779	0,0726		0,0002			
	Analyse	mg/l	67,4	48,5	15	2	38,7	320	98,860	2,763	0	0	0	7,53	/
		méq/l	3,3633	3,9901	0.6521	0,0512	1,0917	5,246	2,0581	0,044	0	0	0		
Ifri	Étiquette	mg/l	99	29	38	2,1	129	265	68	15		<0,02	/	7,2	550
		méq/l	4,9401	2,3858	1,6529	0,0537	3,636	4,3428	1,4158	0,2419	0	0,000			
	Analyse	mg/l	65,6	37,1	201	15	484	117,5	61,94	14,2		0	0	7,09	/
		méq/l	3,2735	3,0522	8,742	0,383	13,65	1,9256	1,2896	0,2290		00	0		
Texanna	Étiquette	mg/l	30	9,1	11	1	28,4	60	11	0			/	7,0	152
		méq/l	1,4970	0,748	0,4785	0,0256	0,8011	0,9836	0,2290	0	0	0			
	Analyse	mg/l	32,47	27,5	5,8	8	18	110	27,636	0		0	0	7,37	/
		méq/l	1,6203	2,2624	0,2521	0,2046	0,5078	1,8033	0,5754	0		0	0		
Lalla Khedija	Étiquette	mg/l	49	5	3,1	0,4	07	168	3	5,94	0	0,03	/	7,42	178
		méq/l	2,4451	0,4114	0,1348	0,0102	0,1975	2,7532	0,0625	0,0958	0	0,0007			
	Analyse	mg/l	31,57	23,9	3,5	0	12,9	201	13,789	0,338		0	00	7,47	/
		méq/l	1,5753	1,9663	0,1522	0	0,3639	3,2951	0,2871	0,00054		0	00		

Tableau 15 : Résultats des analyses chimiques des eaux de source au laboratoire (Avril 2026)

Marque	Type	Unité	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	NO_3^{-}	NH_4^{+}	NO_2^{-}	F^{-}	pH	RS
Besbassa	Étiquette	mg/l	54,16	2,64	5	2	10	164,7	4	9		<0,01	/	7,29	206
		méq/l	2,7026	0,2172	0,2175	0,0512	0,2821	2,6991	0,0833	0,1452	/	0,0002			
	Analyse	mg/l	28,96	24	51	4	137	140	19,62	7,21	0	0	0	7,68	/
		méq/l	1,4451	1,9745	2,2184	0,1023	3,8646	2,2950	0,4085	0,1163	0	0			
Togi	Étiquette	mg/l	73,41	19,25	36	1,8	43,76	183,6	28,9	5,93	/	<0,01	/	7,46	365
		méq/l	3,6632	1,5837	1,5659	0,0460	1,2344	3,0098	0,6017	0,0956		0,0002			
	Analyse	mg/l	40,14	35,8	75	32	29	155,6	36,299	5,224	0	0	0	7,47	/
		méq/l	2,0030	2,9453	3,2623	0,8184	0,8181	2.5508	0,7558	0,0843	0	0			
Soummam	Étiquette	mg/l	114	32	71	2	78	293	196	19,2	/	<0,01	/	7,09	755
		méq/l	5,6886	2,6327	3,0883	0,0512	2,2003	4,8017	4,0808	0,3097		0,0002			
	Analyse	mg/l	67,72	59	28,9	40	76,1	280	68,029	13,256	0	0	0	7,09	/
		méq/l	3,3792	4,854	1,2571	1,0230	2,1465	4,5901	1,4164	0,2138	0	0	0		

IV.2. Autres paramètres physico-chimiques mesurées

Les résultats montrent une variation importante de la conductivité électrique entre les différentes eaux étudiées, avec des valeurs comprises entre 332 et 1542 µS/cm, ce qui traduit des degrés de minéralisation différents (Tableau 16).

Les valeurs de turbidité restent faibles pour l'ensemble des échantillons (< 0,3 NTU), indiquant une bonne qualité physico-chimique et une faible teneur en matières en suspension. Par ailleurs, les valeurs du TAC et du TH révèlent une richesse variable en sels minéraux.

Les eaux Soummam, Guedila et Ifri présentent les valeurs de TH, traduisant une forte minéralisation liée principalement à la présence de calcium et de magnésium les plus élevées, tandis que Besbassa, Texanna, Lalla Khedidja et Togi affichent des niveaux de dureté plus modérés.

Tableau 16. Paramètres physico-chimiques mesurées

Nature de l'eau	Nom de l'eau	Conductvité (µs/cm)	Turbidité (NTU0	TAC Mg/l	TH Mg/l
Eaux sources	Togi	614	0,15	790	246
	Besbassa	368	0,15	700	173
	Soummam	1542	0,11	100	409
Eaux minérales	Guedila	808	0,12	970	365
	Texanna	386	0,11	750	193
	Lalla Khedidja	332	0,26	690	176
	Ifri	939	0,12	980	314

V. Conclusion

Ce chapitre a décrit de manière détaillée l'ensemble du dispositif expérimental mis en œuvre pour caractériser la qualité physico-chimique et bactériologique des sept marques d'eaux embouteillées sélectionnées. L'approche méthodologique adoptée s'appuie sur des protocoles analytiques normalisés, conformes aux prescriptions du Décret exécutif algérien n° 11-125 et aux lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (2022).

Les sept marques étudiées Ifri, Guedila, Texanna, Lalla Khedija pour les eaux minérales, et Togi, Besbassa, Soummam pour les eaux de source, présentent des origines hydrogéologiques variées, allant des aquifères karstiques du Tell septentrional aux formations détritiques du piedmont saharien.

Les analyses physico-chimiques ont porté sur les paramètres fondamentaux de la qualité de l'eau : potentiel d'hydrogène (pH), résidu sec à 180 °C, conductivité électrique, turbidité, titre alcalimétrique complet (TAC), dureté totale (TH), teneurs en cations majeurs (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}), anions majeurs (HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, NO_2^-), ammonium et fluorures. Les balances ioniques ont systématiquement été calculées afin de valider la fiabilité analytique des résultats.

Les analyses bactériologiques ont ciblé les quatre catégories de germes indicateurs et pathogènes réglementés : coliformes totaux et Escherichia coli, entérocoques fécaux, et spores de Clostridium sulfito-réducteurs. Les techniques de filtration sur membrane et de dénombrement en milieu sélectif ont été rigoureusement appliquées dans les conditions d'asepsie requises.

L'ensemble de ce dispositif analytique constitue la base scientifique indispensable à l'interprétation des résultats présentés au Chapitre IV, permettant une évaluation rigoureuse et comparative de la qualité des eaux embouteillées commercialisées en Algérie.

CHAPITRE IV

Interprétations des résultats et discussions

I. Interprétation des résultats sur les étiquettes

Afin de mettre en évidence la composition physico-chimique des eaux étudiées et de faciliter la comparaison de leurs signatures chimiques, nous avons procédé à une interprétation graphique des données analytiques transcrites sur leurs étiquettes commerciales

I.1. Balance ionique :

La balance ionique (BI) est un outil de validation de la cohérence des analyses chimiques d'une eau. Elle repose sur le principe de l'électroneutralité des solutions aqueuses : la somme des charges positives (cations) doit être égale à la somme des charges négatives (anions), exprimées en milliéquivalents par litre (méq/L).

Critères d'acceptabilité selon les normes analytiques :

- 1% < BI < 1% : Fiabilité des résultats d'analyses excellente
- -5% < BI < 5% : Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
- -10% < BI < 10% : Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
- BI < -10% ou BI > 10% : Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses

$$\text{BI } \% = \frac{[\sum \text{cations} - \sum \text{anions}]}{[\sum \text{cations} + \sum \text{anions}]} \times 100$$

Si l'équilibre n'est pas respecté, cela s'explique scientifiquement par trois facteurs :

- Une erreur de mesure : Un des ions majeurs a été mal dosé par le technicien ou l'appareil.
- L'omission d'un ion important : L'eau contient un élément non dosé qui est présent en forte quantité.
- Une erreur sur le pH ou la température : Ayant conduit à une mauvaise estimation des formes du carbone (équilibre calco-carbonique).

Tableau 17. Balances ioniques (analyse étiquettes)

Nature de l'eau	Nom	Balonce ionique %	Interprétation
Eau source	Besbassa	0.33	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Soummam	0.30	Fiabilité des résultats d'analyses excellente
	Togi	16.25	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses
Eau minérale	Ifri	3,29	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
	Lalla khedidja	1,77	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
	Guedila	0.59	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable
	Texenna	15.44	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses

L'analyse de la balance ionique (Tableau 17) révèle une hétérogénéité marquée de la fiabilité analytique selon les marques étudiées. Parmi les eaux de source, Besbessa et Soummam affichent un équilibre cationique-anionique remarquable, tandis que Togi se distingue par un écart ionique largement supérieur aux normes admissibles, révélant une mauvaise fiabilité des résultats. Concernant les eaux minérales naturelles, Guedila présente la meilleure fiabilité du groupe, suivie de Lalla Khedidja et d'Ifri. Ces trois eaux demeurent dans la fourchette acceptable et confirme la composition hydrochimique. En revanche, Texenna affiche un déséquilibre ionique notable témoignant d'une fiabilité analytique insuffisante.

I.2. Représentations graphiques

- **Diagramme de Piper**

Le diagramme de Piper est une représentation graphique permettant de classer les eaux selon leur faciès hydrochimique à partir des concentrations en cations et anions majeurs, exprimées en pourcentage de méq/L.

Il se compose de deux triangles, l'un pour les cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^{+}+K^{+}$) et l'autre pour les anions ($HCO_3^{-}+CO_3^{2-}$, SO_4^{2-}, Cl^{-}), dont les projections convergent vers un losange central représentant la composition globale de l'eau.

La position du point résultant dans le losange permet d'identifier le faciès chimique dominant : bicarbonaté calcique, chloruré sodique, sulfaté magnésien, etc.

Cette méthode, largement utilisée en hydrogéologie, facilite la comparaison de plusieurs échantillons d'eau et met en évidence les similitudes ou les différences entre les eaux étudiées, notamment en lien avec la nature lithologique des aquifères traversés

Le diagramme de Piper met en évidence la composition ionique dominante des eaux embouteillées étudiées.

La majorité des échantillons se situent dans le domaine des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, traduisant une influence importante de la dissolution des formations carbonatées (calcaires et dolomies).

Les eaux Guedila et Togi présentent une minéralisation plus élevée avec une tendance vers le faciès chloruré-sulfaté calcique et magnésien, indiquant une contribution plus importante des ions chlorures et sulfates.

Globalement, les eaux analysées appartiennent à la famille des eaux bicarbonatées à dominante calcique et magnésienne, caractéristiques des aquifères développés dans les terrains carbonatés

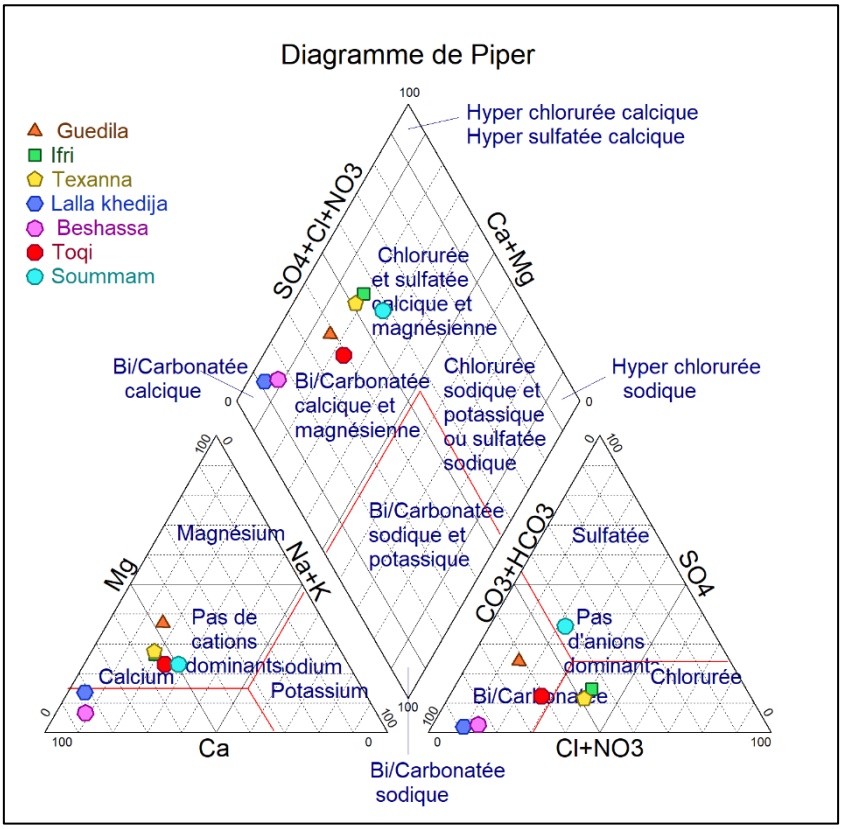


Figure 12. Diagramme de Piper (analyses étiquettes)

- **Diagramme de Schoeller-Berkaloff :**

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff, quant à lui, est une représentation semi-logarithmique qui permet de visualiser simultanément les concentrations des principaux ions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}) exprimées en méq/L, sur des échelles verticales parallèles reliées par des segments de droite.

Chaque échantillon d'eau est ainsi représenté par un profil ou une "signature" caractéristique, dont l'allure générale renseigne sur le type hydrochimique de l'eau.

L'intérêt principal de cette méthode réside dans sa capacité à superposer plusieurs profils sur un même graphique, ce qui permet de comparer aisément la composition ionique de différentes eaux et de détecter d'éventuelles évolutions ou anomalies, comme un enrichissement en sodium ou en chlorures pouvant indiquer une intrusion saline ou une contamination anthropique**.**

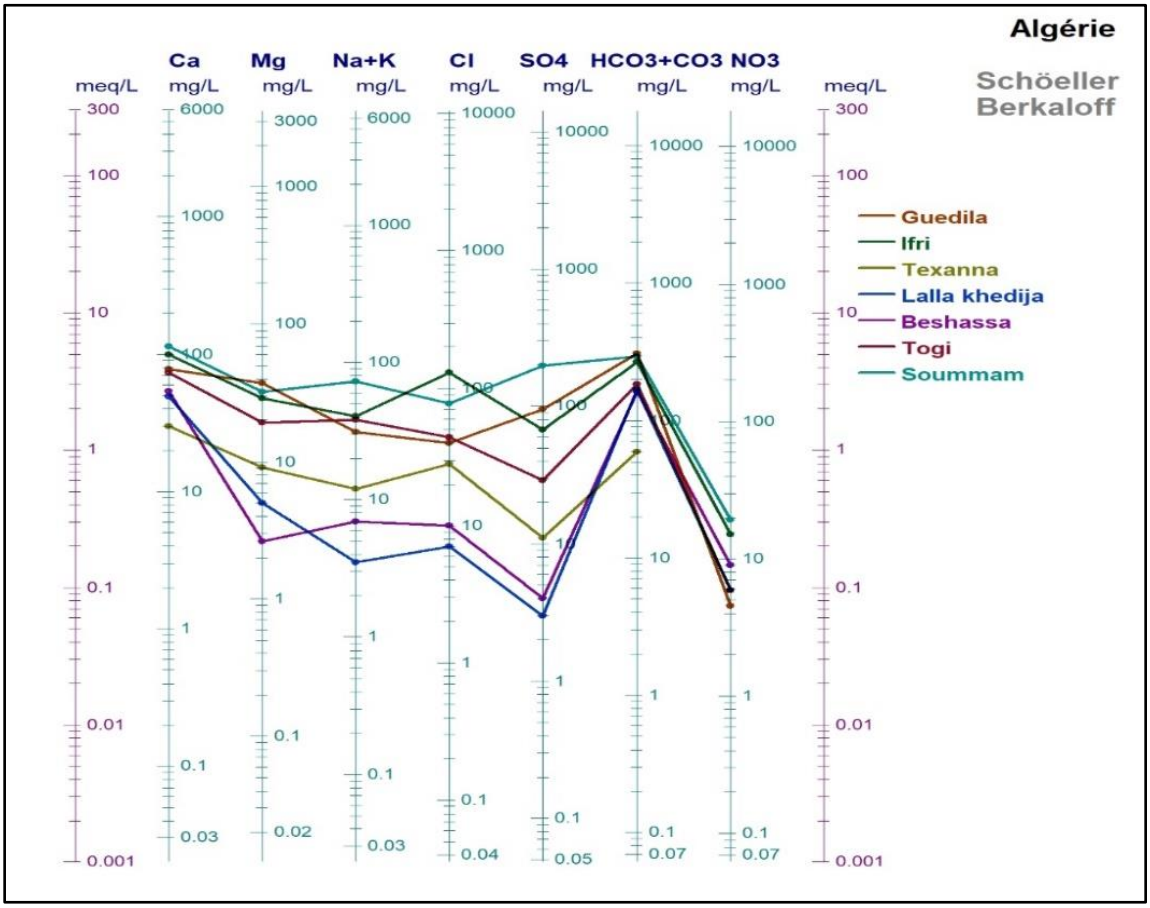


Figure 13. Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyse étiquettes)

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff (figure 13) montre des profils hydrochimiques relativement similaires pour l'ensemble des eaux étudiées, caractérisés par une prédominance des bicarbonates (HCO_3^-) parmi les anions et du calcium (Ca^{2+}) parmi les cations.

Les courbes présentent toutefois des amplitudes variables, reflétant des degrés de minéralisation différents selon les marques.

Les eaux Soummam et Guedila apparaissent comme les plus minéralisées, tandis que Lalla Khedidja et Beshassa présentent les teneurs ioniques les plus faibles (Cf. Tableau 15). L'allure générale des courbes suggère une origine géochimique comparable liée à l'interaction eau-roche au sein des aquifères exploités.

I.2. Faciès hydrochimique (analyses étiquettes)

Les eaux étudiées présentent majoritairement un faciès bicarbonaté calcique et magnésien, caractéristique des aquifères carbonatés.

En se basant sur l'échelle standard de minéralisation, à titre comparatif :

- Très faible : < 50 mg/L
- Faible : 50 à 500 mg/L
- Moyenne : 500 à 1500 mg/L
- Forte : > 1500 mg/L

Les eaux Lalla Khedidja et Besbassa sont faiblement minéralisées, tandis que Soummam, Ifri et Guedila sont moyennement minéralisées (Tableau 18). L'eau Guedila se distingue par un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésien. Ces différences reflètent la diversité des contextes géologiques et des processus de minéralisation des eaux souterraines exploitées.

Tableau 18. Faciès hydrochimiques (analyses étiquettes)

Marque	Faciès hydrochimique	Type d'eau
Lalla Khedidja	Bicarbonatée calcique et magnésienne	Faiblement minéralisée
Beshassa	Bicarbonatée calcique et magnésienne	Faiblement minéralisée
Soummam	Bicarbonatée calcique et magnésienne	Moyennement minéralisée
Ifri	Bicarbonatée calcique et magnésienne à tendance chlorurée	Moyennement minéralisée
Guedila	Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne	Moyennement minéralisée

I.3. Dureté et minéralisation (résultats des étiquettes)

Selon la classification usuelle préconisée par l'OMS (Cf. tableau 8), les résultats montrent une variabilité de la conductivité électrique et de la dureté totale des eaux étudiées, traduisant des différences dans leur degré de minéralisation.

La majorité des eaux sont classées comme moyennement dures à dures (Tableau 19), ce qui confirme leur teneur relativement élevée en ions calcium et magnésium.

Classification des eaux selon leur TH :
Eau très douce : 0 à 60 mg/L $CaCO_3$
Eau douce : 60 à 150 mg/L $CaCO_3$
Eau moyennement dure : 150 à 250 mg/L $CaCO_3$
Eau dure : 250 à 400 mg/L $CaCO_3$
Eau très dure : >400 mg/L $CaCO_3$

Tableau 19. **Classification de TH**

Nature de l'eau	Nom de l'eau	Conductvité (µs/cm)	Turbidité (NTU)	TAC Mg/l	TH mg/l $CaCO_3$	Classification de l'eau selon leur dureté total
Eaux sources	Togi	614	0,15	790	246	Moyennement dure
	Besbassa	368	0,15	700	173	Moyennement dure
	Soummam	1542	0,11	100	409	Eau trés dure
Eaux minérales	Guedila	808	0,12	970	365	Eau dure
	Texanna	386	0,11	750	193	Moyennement dure
	Lalla khedidja	332	0,26	690	176	Moyennement dure
	Ifri	939	0,12	980	314	Eau dure

II. Interprétation des résultats d'analyse au laboratoire

II.1. Balance ionique d'Analyse au laboratoire

Les résultats de la balance ionique (Tableau 20) montrent que les eaux Guedila (2,32 %), Lalla Khedidja (3,37 %) et Ifri (5,05 %) présentent une fiabilité acceptable à médiocre des analyses, ce qui permet d'utiliser leurs résultats hydrochimiques avec un niveau de confiance satisfaisant. En revanche, les eaux Togi (36,41 %), Texenna (20,11 %) et Soummam (11,37 %) affichent des déséquilibres ioniques importants, indiquant une mauvaise fiabilité analytique et nécessitant une interprétation prudente des résultats, voire des analyses complémentaires pour confirmer leur composition chimique.

Globalement, trois échantillons présentent une balance ionique supérieure à la limite recommandée de ±5 %, ce qui suggère la présence d'incertitudes analytiques ou l'absence de certains ions majeurs dans les analyses. Cette situation peut influencer l'interprétation des faciès hydrochimiques et doit être prise en considération lors de la discussion des résultats.

Tableau 20 : Balances ioniques (analyse laboratoire)

Nature de l'eau	Nom	Balonce ionique %	Interprétation
Eau source	Togi	36,41	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyse
	Besbassa	7.60	Fiabilité des résultats d'analyses médiocre.
	Soummam	11,37	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses
Eau minérale	Ifri	5,05	Fiabilité des résultats d'analyse médiocre
	Lalla khedidja	3,37	Fiabilité des résultats d'analyses acceptable.
	Texenna	20,11	Mauvaise fiabilité des résultats d'analyses
	Guedila	2,32	Fiabilité des résultats d'analyse acceptable

II.2. Ammonium et Fluorures

Les analyses de laboratoire ont révélé une absence totale d'ions ammonium (NH_4^+) dans l'ensemble des eaux étudiées. Cette absence indique une bonne qualité chimique des eaux et l'absence de pollution récente d'origine organique
Les fluorures n'ont pas été détectés dans les échantillons analysés. Les concentrations observées sont inférieures aux limites recommandées par l'OMS, indiquant une eau conforme aux normes de potabilité pour ce paramètre.

II.3. Représentations graphiques

II.3.1. Diagramme de Piper

La majorité des eaux analysées se situe ou tend vers le faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Ce faciès traduit une minéralisation principalement contrôlée par la dissolution des formations carbonatées (calcaires et dolomies), entraînant un enrichissement des eaux en ions bicarbonates, calcium et magnésium.

Globalement, les eaux étudiées demeurent dominées par les bicarbonates, indiquant une origine liée aux interactions eau-roche et à la circulation des eaux dans des terrains carbonatés

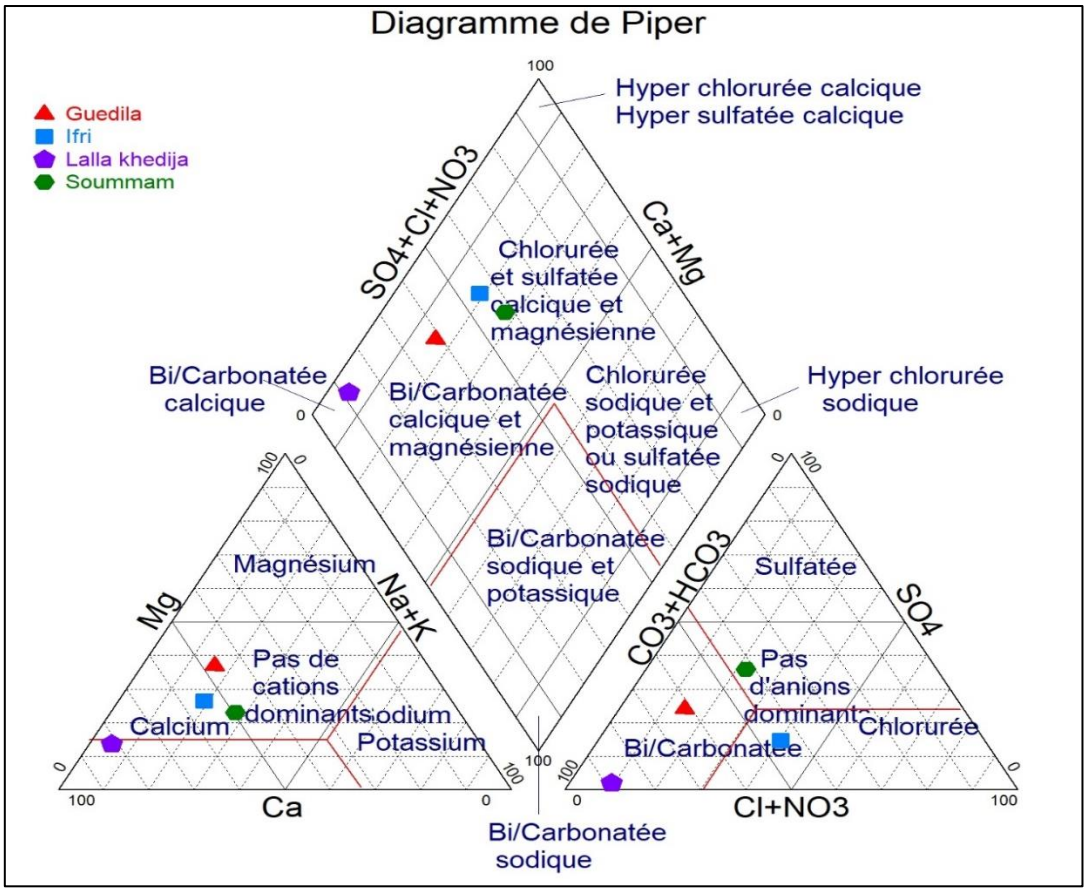


Figure 13. Diagramme de Piper (analyse laboratoire)

II.3.2. Diagramme de Schoeller-Berkaloff

Le diagramme de Schoeller-Berkaloff montre des profils relativement parallèles pour Ifri et Soummam, dominés par Ca^{2+} et HCO_3^-, ce qui traduit un faciès bicarbonaté calcique typique d'aquifères carbonatés.

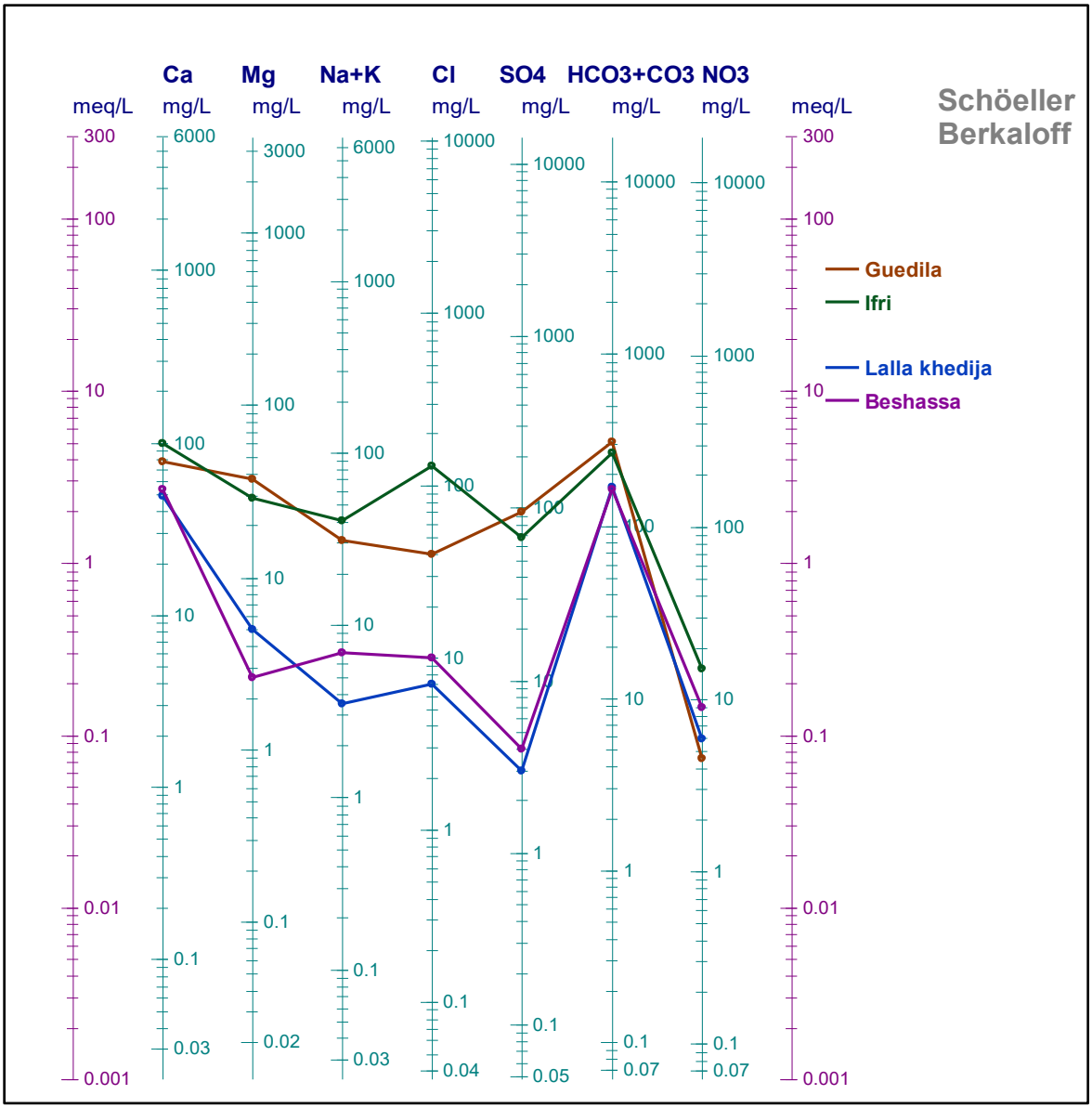


Figure 14 : Diagramme de Schoeller-Berkaloff (analyse laboratoire)

III. Comparaison des résultats de laboratoire 2025 et 2026

III.1. Comparaison des concentrations ioniques majeures des eaux embouteillées étudiées entre les valeurs des étiquettes et les analyses de laboratoire.

Pour une eau minérale naturelle, la concentration ionique doit rester constante et la composition doit être garantie entre les valeurs déclarées sur étiquette et les résultats des analyses effectuées en tolérance généralement inférieure à 10 % à 15 % au maximum est acceptée, tant qu'elle ne modifie pas les caractéristiques essentielles du produit.

Pour les eaux de source, une variabilité plus importante peut être admise, en rapport avec la sensibilité de la nappe aux conditions climatiques saisonnières. Les résultats présentés ci-après comparent, pour trois marques (Ifri, Lalla Khedija et Besbassa), les valeurs déclarées sur

étiquette aux analyses de laboratoire réalisées au cours des campagnes 2025 et 2026 (Tableau 21).

La réglementation algérienne (Décret exécutif n° 12-187) impose une stabilité stricte de la composition des eaux minérales naturelles. Les composants majeurs (Ca^{2+}, Mg^{2+}, HCO_3^-) tolèrent des fluctuations naturelles de ± 10 % à ± 15 % par rapport à la valeur historique déclarée. Si une variation importante survient, elle est le signe que la ressource a subi un changement dans son bassin d'alimentation (contamination, mélange d'eaux, surexploitation du forage). Dans ce cas, la dénomination d'eau minérale peut être remise en cause.

Tableau 21. Comparaison des résultats d'analyses au laboratoire 2025 et 2026

Marque	Type	Unité	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	NO_2^-	F^-	pH
Ifri	Étiquette	mg/L	99	29	38	2,1	129	265	68	15	<0,02	/	7,2
		méq/L	4,9401	2,3858	1,6529	0,0537	3,636	4,3428	1,4158	0,2419	0,0004		
	Analyse 2026	mg/L	65,6	37,1	201	15	484	117,5	61,94	14,2	0	0	7,09
		méq/L	3,2735	3,0522	8,742	0,383	13,65	1,9256	1,2896	0,2290	0	0	
	Étiquette 2025	mg/L	99	29	35	2,1	98	265	68	15	0,02		7,2
		méq/L	4,9401	2,3858	1,52	0,0537	2,76	4,3428	1,41	0,24	0,0004	/	
	Analyse 2025	mg/L	39,357	53,7	28,1	7,4	138,428	469,7	70,06	16,64	/		7.2
		méq/L	1,96	4,41	1,22	0,18	3,89	7,7	1,45	0,26	/	/	
Lalla Khedidja	Étiquette 2025-2026	mg/L	49	5	3,1	0,4	7	168	3	5,94	0,03	/	7,42
		méq/L	2,4451	0,4114	0,1348	0,0102	0,1975	2,7532	0,0625	0,0958	0,0007		
	Analyse 2026	mg/L	31,57	23,9	3,5	0	12,9	201	13,789	0,338	0	0	7,47
		méq/L	1,5753	1,9663	0,1522	0	0,3639	3,2951	0,2871	0	0	0	
	Analyse 2025	mg/L	28,915	46,6	4,1	0,5	36,942	203,75	32,125	3,035	/	/	7.47
		méq/L	1,44	3,83	0,17	0,012	1,04	3,34	0,66	0,04	/	/	
Besbassa	Étiquette 2025/2026	mg/L	54,16	2,64	5	2	10	164,7	4	9	/	0	7,29
		méq/L	2,7026	0,2172	0,2175	0,0512	0,2821	2,6991	0,0833	0,1452	0	0	
	Analyse 2025	mg/L	54,16	18,6	12,3	5,4	67,703	123,22	35,056	8,51	/	/	7,5
		méq/L	2.7	1,53	0,53	0,13	1,9	2,02	0,73	0,13	/	/	
	Analyse 2026	mg/L	28,96	24	51	4	137	140	19,62	7,21	0	0	7,68
		méq/L	1,4451	1,9745	2,2184	0,1023	3,8646	2,2950	0,4085	0,1163	0	0	

III.1.1. Ifri

L'eau minérale Ifri prend sa source dans les massifs calcaires de l'Akfadou (Ouzellaguen, Béjaïa). Son faciès hydrochimique dominant est de type bicarbonaté calcique à sodique. L'analyse des résultats obtenus au laboratoire lors des campagnes 2025 et 2026 révèle des écarts significatifs par rapport aux valeurs déclarées sur étiquette, en particulier pour le sodium (Na^+), les chlorures (Cl^-) et les bicarbonates (HCO_3^-) (Figure 15).

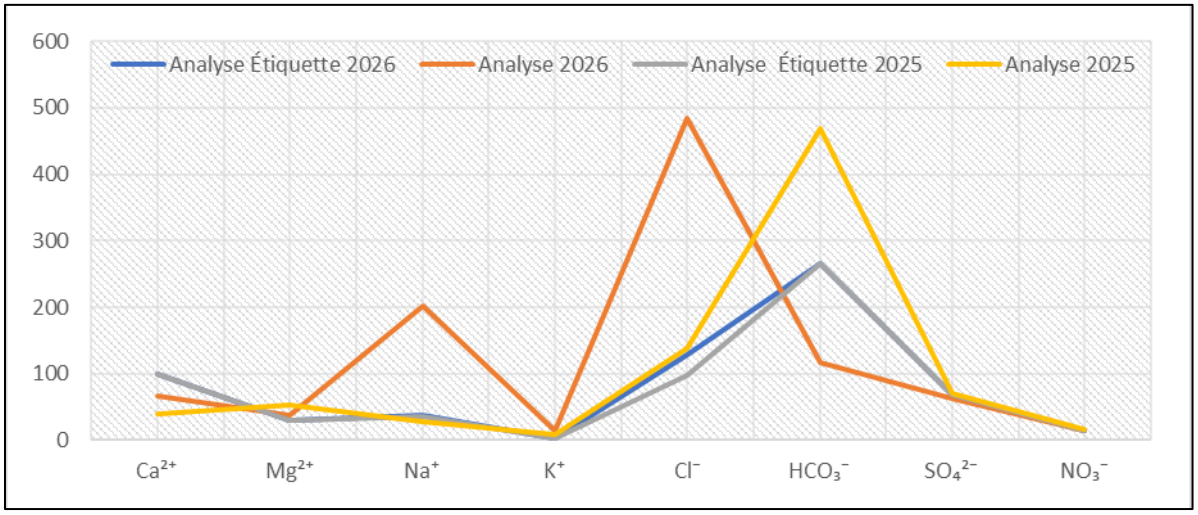


Figure 15. Analyses comparatives de l'eau minérale Ifri

- **Variations des cations**

Le calcium (Ca^{2+}) présente une diminution progressive entre l'étiquette (99 mg/L), le labo 2026 (65,6 mg/L, soit −33,7 %) et le labo 2025 (39,4 mg/L, soit −60,2 %). Cette baisse constante du calcium (Figure15) suggère une dilution progressive de la nappe, compatible avec un apport d'eaux d'infiltration moins chargées en minéraux carbonatés.

Le magnésium (Mg^{2+}) évolue à l'inverse : 29 mg/L sur étiquette, 37,1 mg/L en 2026 (+27,9 %) et 53,7 mg/L en 2025 (+85,2 %). Cette augmentation du magnésium, conjuguée à la baisse du calcium, peut traduire une dolomitisation progressive de l'aquifère ou un allongement du trajet de l'eau dans des formations plus magnésiennes.

Le sodium (Na^+) et les chlorures (Cl^-) constituent les anomalies les plus préoccupantes. En 2026, le sodium atteint 201 mg/L (contre 38 mg/L sur étiquette, soit +428,9 %), et les chlorures atteignent 484 mg/L (contre 129 mg/L sur étiquette, soit +275,2 %). Ces deux ions évoluent normalement de pair car ils forment la signature saline (NaCl). Le rapport molaire Na^+/Cl^- constitue en hydrogéologie la véritable « empreinte digitale » chimique d'un aquifère lorsque ces ions proviennent de la dissolution naturelle du sel gemme (halite), ils se libèrent en proportions égales, donnant un rapport proche de 1. Or, le rapport calculé en 2026 est de $201/484 \approx 0{,}42$, soit un excès marqué de chlorures qui rompt l'équilibre stœchiométrique attendu. Cela peut indiquer soit une infiltration d'eaux de surface anthropiques (rejets d'eaux usées, engrais agricoles), soit un phénomène d'échange cationique inverse au contact d'argiles profondes capturant le Na^+ et libérant des chlorures en excès.

En 2025, les valeurs de Na^+ (28,1 mg/L) et Cl^- (138,4 mg/L) restent plus proches de l'étiquette, suggérant que l'anomalie de 2026 est récente et potentiellement liée à une dégradation de l'isolement de la nappe.

Le potassium (K^+) affiche un écart de +614,3 % en 2026 (15 mg/L vs 2,1 mg/L sur étiquette). Bien qu'il soit naturellement présent en très faibles concentrations dans les eaux souterraines, une hausse aussi brutale du K^+ est souvent associée à des apports anthropiques (engrais potassiques, pollution agricole) ou à un changement de la trajectoire des filets d'eau souterrains.

- **Variations des anions**

Les bicarbonates (HCO_3^-) constituent le composant thermal prédominant d'Ifri (265 mg/L sur étiquette). Ils proviennent de la dissolution des roches carbonatées par les eaux de pluie chargées en CO_2.
En 2026, une chute brutale est observée : 117,5 mg/L soit −55,7 %.
À l'inverse, en 2025, les bicarbonates atteignent 469,7 mg/L (+77,2 %), soit une valeur bien supérieure à l'étiquette. Une telle instabilité bi-directionnelle : forte hausse en 2025 puis forte baisse en 2026 dépasse largement la marge de ±10 à 15 % tolérée et ne peut pas être expliquée uniquement par les fluctuations saisonnières naturelles. Elle traduit une instabilité structurelle de la nappe dont l'origine doit être investiguée.
Les sulfates (SO_4^{2-}) sont globalement stables entre l'étiquette (68 mg/L), le labo 2025 (70,1 mg/L, +3,0 %) et le labo 2026 (61,9 mg/L, −8,9 %), restant dans les marges tolérées.
Les nitrates (NO_3^-) présentent également des valeurs proches de l'étiquette (15 mg/L), stables sur les deux campagnes et en-dessous du seuil réglementaire.

En conclusion pour Ifri, les écarts observés sur Na^+, Cl^-, K^+ et HCO_3^- dépassent très largement les seuils réglementaires admis (tableau 22). Le rapport Na^+/Cl^- rompu en 2026 constitue un signal d'alerte sérieux sur l'intégrité de la nappe. Conformément au protocole réglementaire (Décret 12-187), de telles anomalies imposent une investigation hydrologique approfondie et, le cas échéant, la suspension temporaire de l'embouteillage de la source.

Tableau 22. Écarts entre les valeurs d'étiquette et les résultats d'analyses d'Ifri

Ion	Étiquette (mg/L)	Labo 2025 (mg/L)	Écart 2025	Labo 2026 (mg/L)	Écart 2026
Ca^{2+}	99	39.4	-60.2%	65.6	-33.7%
Mg^{2+}	29	53.7	+85.2%	37.1	+27.9%
Na^+	38	28.1	-26.1%	201	+428.9%
K^+	2.1	7.4	+252.4%	15	+614.3%
Cl^-	129	138.4	+7.3%	484	+275.2%
HCO_3^-	265	469.7	+77.2%	117.5	-55.7%
SO_4^{2-}	68	70.1	+3%	61.9	-8.9%
NO_3^-	15	16.6	+10.9%	14.2	-5.3%

III.1.1. Lalla Khedija

L'eau de Lalla Khedija prend sa source sur les hauteurs du massif du Djurdjura. C'est une eau oligominérale (très faiblement minéralisée, RS déclaré = 178 mg/L) dotée d'un faciès typique bicarbonaté calcique. La variation conjointe du Mg^{2+}, des Cl^{-}, des SO_4^{2-} et des HCO_3^{-} observée entre l'étiquette et les analyses de laboratoire s'interprète différemment de celle d'Ifri, en raison de la très grande pureté et de la légèreté initiale de cette eau.

Tableau 23. Écarts entre les valeurs d'étiquette et les résultats d'analyses Lalla Khedidja

Ion	Étiquette (mg/L)	Labo 2025 (mg/L)	Écart 2025	Labo 2026 (mg/L)	Écart 2026
Ca^{2+}	49	28.9	-41%	31.6	-35.6%
Mg^{2+}	5	46.6	+832%	23.9	+378%
Na^{+}	3.1	4.1	+32.3%	3.5	+12.9%
K^{+}	0.4	0.5	+25%	0	-100%
Cl^{-}	7	36.9	+427.7%	12.9	+84.3%
HCO_3^{-}	168	203.8	+21.3%	201	+19.6%
SO_4^{2-}	3	32.1	+970.8%	13.8	+359.6%
NO_3^{-}	5.94	3	-48.9%	0.338	-94.3%

Sur l'étiquette de Lalla Khedidja, les teneurs initiales de certains ions sont extrêmement basses : $Mg^{2+} \approx 5$ mg/L, $Cl^{-} \approx 7$ mg/L, $SO_4^{2-} \approx 3$ mg/L (Figure 16). Lorsqu'une eau est si peu chargée, le moindre écart absolu en mg/L fait exploser le pourcentage de variabilité. Par exemple, si SO_4^{2-} passe de 3 mg/L à 13,8 mg/L en 2026, l'écart relatif atteint +359,6 %, mais la valeur absolue reste bien en-dessous de la limite réglementaire. Sur le plan sanitaire, l'eau demeure donc parfaitement conforme. Les laboratoires de contrôle élargissent généralement la tolérance relative pour les ions présents à l'état de traces.

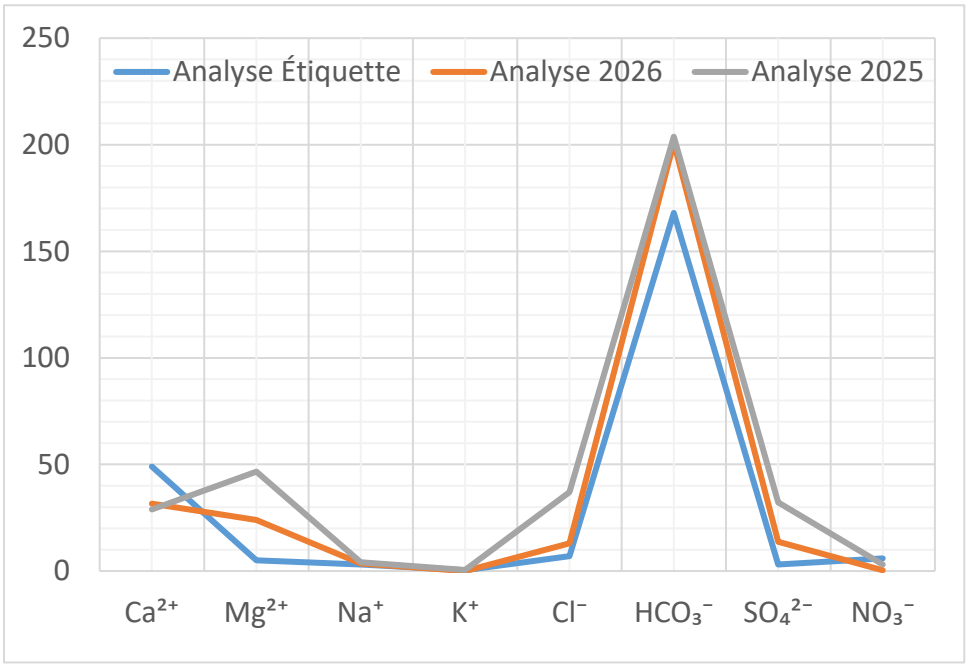


Figure 16. Variations des résultats d'analyses de l'eau Lalla khedidja

- **Variations des cations et anions**

Le massif du Djurdjura est majoritairement calcaire (d'où la prédominance des HCO_3^-), mais comporte en profondeur des formations sédimentaires contenant des dolomies (qui libèrent du Mg^{2+}) et de petites poches d'évaporites (qui libèrent conjointement Cl^- et SO_4^{2-}). La fluctuation simultanée de ce quatuor d'ions révèle un phénomène typique des nappes de haute montagne : l'effet du temps de séjour de l'eau dans l'aquifère.
En période de forte hydraulicité (forte fonte des neiges ou fortes pluies), l'eau circule très rapidement dans les réseaux karstiques : elle n'a pas le temps de dissoudre les minéraux profonds, et les taux de Mg^{2+}, Cl^- et SO_4^{2-} restent au minimum. A contrario, en période de sécheresse ou de faible pluviométrie, l'eau stagne plus longtemps dans la roche, augmentant la dissolution du magnésium, des sulfates et des chlorures. Ainsi, la hausse simultanée de Mg^{2+}, Cl^- et SO_4^{2-} observée en 2025 (Tableau 23) (Mg^{2+} = 46,6 mg/L, +832 % ; Cl^- = 36,9 mg/L, +427,7 % ; SO_4^{2-} = 32,1 mg/L, +970,8 %) est cohérente avec une période de faible hydraulicité favorisant un temps de contact prolongé eau-roche.

En 2026, ces valeurs se modèrent (Mg^{2+} = 23,9 mg/L, +378 % ; Cl^- = 12,9 mg/L, +84 % ; SO_4^{2-} = 13,8 mg/L, +359,6 %), suggérant une reprise partielle des circulations karstiques.
Le Ca^{2+} suit une tendance inverse : 49 mg/L (étiquette) → 28,9 mg/L (2025, −41 %) → 31,6 mg/L (2026, −35,6 %), traduisant un déséquilibre du couple Ca^{2+}/Mg^{2+} au profit du magnésium, signe d'une dissolution préférentielle des phases dolomitiques.
Il convient de distinguer ces variations naturelles d'une anomalie d'origine anthropique : si les analyses montraient une hausse isolée et brutale des Cl^- sans augmentation concomitante des SO_4^{2-} et du Mg^{2+} (figure16). Cela pourrait indiquer des infiltrations de ruissellement routier ou de sels de déneigement sur les axes d'altitude du Djurdjura. Dans notre cas, la variation conjointe du triplet Mg–SO_4–Cl aurait une origine géologique naturelle.

III.1.3. Besbassa

Besbassa est une eau de source, de minéralisation modérée (RS déclaré = 206 mg/L), à faciès bicarbonaté calcique. Contrairement aux eaux minérales naturelles, les eaux de source ne sont pas soumises à l'exigence de stabilité permanente de la composition, mais leurs valeurs d'étiquette doivent demeurer représentatives de la qualité habituelle de la ressource. Les résultats des analyses 2025 et 2026 révèlent des écarts particulièrement prononcés (Figure 19).

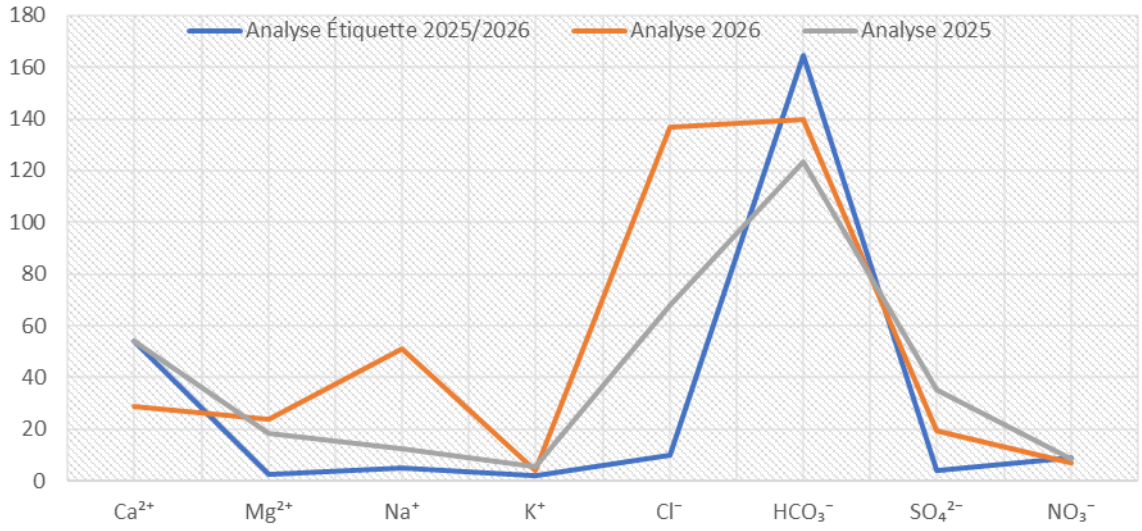


Figure 19. Variations des résultats d'analyses de l'eau Besbassa

- **Variations des cations**

Le calcium (Ca^{2+}) constitue la seule valeur conforme à l'étiquette en 2025 (54,16 mg/L, écart nul), avant de chuter à 28,96 mg/L en 2026 (−46,5 %). Cette stabilité en 2025 puis forte baisse en 2026 indique une modification récente du chimisme de la source, probablement liée à une diminution de la dissolution des roches calcaires dans l'aquifère (Tableau24)

Le magnésium (Mg^{2+}) présente une augmentation considérable : 2,64 mg/L sur étiquette → 18,6 mg/L en 2025 (+604,5 %) → 24 mg/L en 2026 (+809,1 %). Cette progression continue suggère une dolomitisation croissante de l'aquifère ou un glissement du trajet souterrain vers des formations plus magnésiennes. L'inversion du rapport Ca^{2+}/Mg^{2+} (dominant calcique sur étiquette, tendance magnésienne au labo) modifie fondamentalement le faciès hydrochimique de l'eau.

Le sodium (Na^{+}) évolue de 5 mg/L (étiquette) à 12,3 mg/L en 2025 (+146 %) et jusqu'à 51 mg/L en 2026 (+920 %). Les chlorures (Cl^{-}) suivent la même progression très en hausse : 10 mg/L (étiquette) → 67,7 mg/L (2025, +577 %) → 137 mg/L (2026, +1270 %).
Cette co-augmentation Na^{+}/Cl^{-} à un rythme accéléré entre 2025 et 2026 bien au-delà de toute marge naturelle suggère une contamination progressive de la nappe par des eaux salines ou des rejets extérieurs (figure 19). Le potassium (K^{+}) suit la même tendance : 2 mg/L → 5,4 mg/L (+170 %) → 4 mg/L (+100 %).

- **Variations des anions**

Les bicarbonates (HCO_3^{-}) diminuent progressivement (figure) : 164,7 mg/L (étiquette) → 123,2 mg/L (2025, −25,2 %) → 140 mg/L (2026, −15 %). Cette baisse des HCO_3^{-}, couplée à la forte hausse de Cl^{-} et SO_4^{2-}, indique un changement de faciès chimique : l'eau tend à se déplacer du pôle bicarbonaté vers un pôle chloruré-sulfaté

Les sulfates (SO_4^{2-}) passent de 4 mg/L (étiquette) à 35,1 mg/L en 2025 (+776 %) et 19,6 mg/L en 2026 (+390 %) (tableau 24). Une telle hausse des sulfates peut traduire la dissolution de formations évaporitiques (gypse, anhydrite) dans l'aquifère, ou une influence anthropique (rejets industriels, lixiviats).

En conclusion pour Besbassa, la progression continue et accélérée de Na^+, Cl^-, Mg^{2+} et SO_4^{2-} entre 2025 et 2026, associée à la chute simultanée de Ca^{2+} et HCO_3^-, traduit une dérive hydrochimique significative de la source. Bien que la réglementation sur les eaux de source soit moins stricte que celle des eaux minérales, l'ampleur de ces variations avec des écarts pouvant dépasser 1270 % nécessite une réévaluation urgente des valeurs d'étiquette et une investigation hydrologique de la nappe exploitée.

Tableau 24. Écarts entre les valeurs d'étiquette et les résultats d'analyses Besbassa

Ion	Étiquette (mg/L)	Labo 2025 (mg/L)	Écart 2025	Labo 2026 (mg/L)	Écart 2026
Ca^{2+}	54.16	54.16	0%	28.96	-46.5%
Mg^{2+}	2.64	18.6	+604.5%	24	+809.1%
Na^+	5	12.3	+146%	51	+920%
K^+	2	5.4	+170%	4	+100%
Cl^-	10	67.7	+577%	137	+1270%
HCO_3^-	164.7	123.2	-25.2%	140	**-15%**
SO_4^{2-}	4	35.1	+776.4%	19.62	+390.5%
NO_3^-	9	8.51	-5.4%	7.21	-19.9%

IV. Résultats des germes recherchés dans les eaux analysées

Les résultats obtenus pour l'ensemble des paramètres bactériologiques recherchés sont présentés dans le tableau ci-dessous, pour chacune des sept marques étudiées,

Tableau 25. Résultats des analyses bactériologiques des eaux embouteillées analysées

Germe recherché	Ifri	Guedila	Texanna	Lalla Khedija	Togi	Besbessa	Soummam
Coliformes totaux	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif
E. coli	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif
Entérocoques	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif
Clostridium spores sulfito-réductrices	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif	Négatif

IV.1. Discussion de la qualité bactériologique

L'évaluation de la conformité bactériologique a été effectuée par comparaison des résultats obtenus aux critères microbiologiques définis par la réglementation algérienne et les recommandations OMS pour les eaux embouteillées (Tableau 23).

Tableau 23. Tableau de conformité bactériologique analysées

Marque	Type	Résultat global	Conformité
Ifri	Minérale	Tous germes négatifs	✓ CONFORME
Guedila	Minérale	Tous germes négatifs	✓ CONFORME
Texanna	Minérale	Tous germes négatifs	✓ CONFORME
Lalla Khedija	Minérale	Tous germes négatifs	✓ CONFORME
Togi	Source	Tous germes négatifs	✓ CONFORME
Besbessa	Source	Tous germes négatifs	✓ CONFORME
Soummam	Source	Tous germes négatifs	✓ CONFORME

Les résultats bactériologiques obtenus pour l'ensemble des sept marques d'eau embouteillée analysées sont unanimement négatifs pour tous les germes recherchés. Aucune non-conformité bactériologique n'a été détectée. Cette situation satisfaisante reflète l'efficacité des procédés de captage, de traitement et de conditionnement mis en œuvre par les producteurs, ainsi que le respect des bonnes pratiques d'hygiène lors de la mise en bouteille.

L'absence de coliformes totaux et fécaux témoigne de l'absence de contamination fécale d'origine humaine ou animale. L'absence de Pseudomonas aeruginosa, germe opportuniste redouté notamment pour les sujets immunodéprimés, confirme la haute qualité microbiologique des eaux analysées. Ces résultats sont en accord avec les données de la littérature relative aux

eaux embouteillées algériennes, qui rapportent généralement une bonne conformité bactériologique des marques commercialisées.

VI. Comparaison et Discussions

L'analyse comparative des balances ioniques met en évidence des écarts notables entre les résultats obtenus au laboratoire et ceux figurant sur les étiquettes des eaux embouteillées. Alors que les données des étiquettes indiquent généralement une fiabilité analytique excellente à acceptable, plusieurs échantillons analysés au laboratoire présentent des balances ioniques correspondant à une fiabilité médiocre, voire mauvaise. Les eaux Togi, Texanna et Soummam enregistrent notamment des déséquilibres supérieurs à 10 %, tandis que Besbessa présente une fiabilité légèrement dégradée.

Ces différences peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. Elles peuvent résulter de divergences entre les protocoles analytiques utilisés par les laboratoires ayant établi les données d'étiquetage et ceux employés lors des analyses réalisées dans le cadre de cette étude. Les conditions de prélèvement, de transport, de stockage des échantillons ou encore d'éventuelles interactions entre l'eau et le matériau des bouteilles peuvent également influencer la composition chimique mesurée. Par ailleurs, les valeurs figurant sur les étiquettes peuvent provenir d'analyses anciennes et ne pas refléter parfaitement la composition actuelle de l'eau.

Il est également possible que certaines variations observées traduisent une évolution réelle de la qualité de l'eau liée à des facteurs naturels tels que les fluctuations saisonnières, les changements hydrogéologiques de l'aquifère ou les différences entre les lots d'embouteillage. Ces observations soulignent l'importance d'un contrôle régulier de la qualité des eaux embouteillées ainsi que la nécessité d'une harmonisation des méthodes analytiques afin d'assurer une meilleure comparabilité des résultats.

En tenant compte des balances ioniques obtenues, les eaux Guedila et Lalla Khedidja apparaissent comme les échantillons les plus fiables, leurs résultats présentant une cohérence satisfaisante aussi bien pour les données d'étiquetage que pour les analyses de laboratoire. À l'inverse, les faciès hydrochimiques déterminés pour les autres marques doivent être interprétés avec prudence en raison de l'incertitude associée à leurs analyses.

L'étude hydrochimique révèle que la majorité des eaux analysées appartiennent à un faciès bicarbonaté calcique, caractérisé par la dominance des ions HCO_3^- et Ca^{2+}. Cette composition traduit généralement une interaction prolongée de l'eau avec des formations carbonatées telles que les calcaires et les dolomies. Les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff confirment globalement cette classification pour la plupart des échantillons étudiés. Toutefois, certaines particularités sont observées, notamment pour Guedila qui présente une influence plus marquée des ions chlorures et sulfates, ainsi que pour Besbessa qui montre localement une tendance sodique plus prononcée.

Les analyses de laboratoire mettent également en évidence des teneurs en potassium nettement supérieures à celles indiquées sur les étiquettes pour certaines marques, notamment Togi et Soummam. Bien que le potassium soit un élément indispensable au bon fonctionnement de l'organisme, des concentrations élevées peuvent constituer un facteur de risque pour les personnes souffrant d'insuffisance rénale ou de pathologies cardiovasculaires.

Concernant les nitrates, les concentrations mesurées restent largement inférieures à la limite de potabilité fixée à 50 mg/L. Néanmoins, les valeurs observées au laboratoire pour Besbessa et Togi sont supérieures à celles mentionnées sur les étiquettes, ce qui témoigne d'une évolution possible de la composition chimique de ces eaux. Malgré leur conformité aux normes en vigueur, une surveillance régulière demeure recommandée en raison des risques sanitaires associés à des concentrations élevées en nitrates et en nitrites.

Les résultats montrent également que l'ensemble des eaux étudiées présente des teneurs en sodium relativement faibles et conformes aux normes algériennes. Cette caractéristique constitue un avantage nutritionnel, notamment pour les consommateurs soumis à un régime pauvre en sodium. Toutefois, l'eau Ifri affiche la concentration la plus élevée du groupe, se rapprochant du seuil réglementaire.

L'ensemble des marques affiche un potentiel d'hydrogène (pH) parfaitement homogène, compris entre 7,0 (Texanna, la plus neutre) et 7,46 (Togi), matérialisant un système tampon carbonaté actif et des eaux ni agressives ni entartrantes, en totale conformité avec le Décret exécutif n° 11-125 (limites admises : 6,5 - 8,5).

Les mesures de conductivité électrique traduisent des degrés de minéralisation variables selon les marques. Les valeurs les plus élevées sont observées pour Soummam et Ifri, indiquant une plus forte charge en sels minéraux dissous. À l'inverse, Lalla Khedidja présente la conductivité la plus faible, ce qui confirme son caractère faiblement minéralisé.

Par ailleurs, les faibles valeurs de turbidité enregistrées pour l'ensemble des échantillons témoignent d'une bonne qualité physico-chimique et d'une faible présence de particules en suspension. Cette caractéristique reflète l'efficacité des procédés de captage et de conditionnement mis en œuvre par les producteurs.

Les valeurs élevées du titre alcalimétrique complet (TAC) observées dans toutes les eaux analysées confirment la prédominance des bicarbonates et traduisent une capacité importante à neutraliser les variations de pH. Cette propriété confère aux eaux étudiées une bonne stabilité chimique et renforce leur caractère bicarbonaté.

L'analyse comparative des trois marques 2025-2026 met en évidence des situations contrastées. Ifri présente une instabilité chimique sévère sur Na^+, Cl^- et K^+ en 2026, avec rupture du rapport Na^+/Cl^- signalant une possible infiltration d'eaux superficielles ou un échange cationique anormal. Lalla Khedidja, eau oligominérale du Djurdjura, affiche des écarts relatifs très élevés qui s'expliquent en grande partie par l'effet amplifié des très faibles concentrations initiales et par la variabilité hydrogéologique naturelle des nappes de haute montagne karstique ; le risque sanitaire y est plus limité. Besbassa, eau de source, présente les écarts absolus les plus préoccupants avec une dérive accélérée vers un faciès chloruré-sulfaté qui remet en question la représentativité de ses valeurs d'étiquette.

Ces résultats soulignent l'importance d'un suivi analytique régulier et pluriannuel des eaux embouteillées commercialisées en Algérie, conformément aux dispositions du Décret exécutif n° 12-187. Ils mettent également en lumière la nécessité de mettre à jour les valeurs déclarées sur étiquette dès lors que les analyses révèlent des écarts durables et significatifs, afin de garantir la conformité des produits commercialisés et la protection de la santé du consommateur.

Enfin, L’analyse microbiologique est le point fort de cette évaluation. Les résultats pour les sept marques sont unanimement négatifs pour l'ensemble des germes recherchés (Coliformes totaux, E. coli Clostridium spores sulfito-réductrices entrérocoques). L’absence totale de ces indicateurs de contamination fécale ou pathogènes opportunistes consacre une conformité absolue (100 % conforme) par rapport aux exigences réglementaires algériennes et aux lignes directrices de l'OMS. Cette situation témoigne de la performance des processus de captage profonds, de l'efficacité des protocoles d'hygiène lors de l'embouteillage et de la bonne protection naturelle des aquifères contre les infiltrations polluantes de surface

VI. Conclusion

L'analyse des résultats obtenus au cours de ce chapitre permet de dresser un bilan nuancé de la qualité physicochimique et bactériologique des sept marques d'eaux embouteillées étudiées, révélant à la fois des points forts communs et des situations individuelles contrastées.

Sur le plan des faciès hydrochimiques, la majorité des eaux analysées sont de faciès bicarbonaté calcique et magnésien, caractéristique d'une interaction prolongée avec les formations carbonatées (calcaires, dolomies) dominant le nord algérien. Les diagrammes de Piper et de Schoeller-Berkaloff confirment cette classification pour cinq des sept marques. Guedila se distingue par une influence chlorurée et sulfatée plus marquée, tandis que Besbassa montre une dérive progressive vers un pôle chloruré-sodique au fil des deux campagnes d’analyses.

Sur le plan de la conformité étiquette-laboratoire, les résultats révèlent des écarts plus que significatifs pour plusieurs marques. Ifri présente une instabilité chimique notable sur Na^+, Cl^- et K^+ en 2026 ; Lalla Khedija affiche des écarts relatifs élevés, en partie amplifiés mathématiquement par ses très faibles concentrations initiales ; Besbassa enregistre les dérives absolues les plus préoccupantes, avec une progression de Na^+ (+920 %), Cl^- (+1270 %) et Mg^{2+} (+809 %) entre étiquette et analyses 2026, suggérant une contamination progressive ou un changement hydrogéologique de l'aquifère exploité.

Sur le plan des balances ioniques, Guedila et Lalla Khedija présentent la meilleure fiabilité analytique, tandis que Togi, Texanna et Soummam affichent des déséquilibres supérieurs à 10 % en laboratoire, invitant à la prudence dans l'interprétation de leurs faciès hydrochimiques.

Sur le plan bactériologique, le résultat est unanimement satisfaisant : l'ensemble des sept marques est totalement conforme (100 %) aux normes réglementaires algériennes et aux recommandations OMS (2022) pour tous les germes recherchés : coliformes totaux, E. coli, entérocoques fécaux et Clostridium sulfito-réducteurs. Cette conformité absolue témoigne de l'efficacité des procédés de captage profond, des protocoles d'hygiène lors de l'embouteillage et de la bonne protection naturelle des aquifères contre les infiltrations polluantes.

CONCLUSION GENERALE
&
RECOMMANDATIONS

Conclusion générale

Au terme de ce travail de fin d'étude, nous pouvons conclure que, si la qualité microbiologique des eaux embouteillées algériennes étudiées est irréprochable, la stabilité de leur composition physicochimique et la fiabilité des valeurs déclarées sur étiquette interpellent et nécessitent un contrôle analytique plus fréquent et une harmonisation des protocoles inter-laboratoires, en particulier pour les marques présentant des dérives hydrochimiques significatives entre 2025 et 2026.

Ce mémoire de Master en Hydrogéologie a permis une caractérisation hydrochimique, bactériologique et qualitative rigoureuse de sept marques d'eaux embouteillées commercialisées en Algérie : Ifri, Guedila, Texanna, Lalla Khedija, Togi, Besbassa et Soummam, à travers la confrontation systématique de données déclarées sur étiquette aux résultats d'analyses physico-chimiques et bactériologiques réalisées au laboratoire de la SEOR lors de deux campagnes en 2025 et 2026.

Du point de vue hydrochimique, l'étude confirme la prédominance du faciès bicarbonaté calcique et magnésien pour cinq des sept marques, directement contrôlé par la dissolution des formations carbonatées qui structurent le Tell septentrional algérien. Ce faciès, mis en évidence à la fois par les données d'étiquette et par les analyses de laboratoire, constitue la signature hydrochimique caractéristique des eaux souterraines karstiques du nord du pays. Des singularités sont cependant observées : Guedila présente une influence chlorurée et sulfatée marquée, liée à des formations évaporitiques ; Besbassa affiche une dérive progressive vers un faciès chloruré-sodique alarmante entre 2025 et 2026 ; Lalla Khedija, eau oligominérale du massif du Djurdjura, se caractérise par une minéralisation très faible et une variabilité hydrogéologique naturelle accentuée.

Du point de vue de la fiabilité des données d'étiquetage, les balances ioniques calculées sur les données étiquettes montrent une fiabilité analytique généralement satisfaisante pour la plupart des marques. En revanche, les résultats de laboratoire révèlent des déséquilibres supérieurs à 10 % pour Togi, Texanna et Soummam, et des dérives absolues particulièrement préoccupantes pour Besbassa, dont certains ions affichent des écarts dépassant 1270 % entre les valeurs d'étiquette et les analyses 2026. Ces résultats soulèvent des questions fondamentales sur la représentativité temporelle des valeurs déclarées et la nécessité d'une actualisation régulière de l'étiquetage.

Du point de vue bactériologique, la conclusion est nette et positive : une conformité totale (100 %) est enregistrée pour l'ensemble des sept marques vis-à-vis de la totalité des germes recherchés coliformes totaux, Escherichia coli, entérocoques fécaux et spores de Clostridium sulfito-réducteurs. Cette conformité absolue atteste de la performance des systèmes de captage profond, de l'efficacité des procédés de conditionnement et d'embouteillage, et de la bonne protection naturelle des aquifères contre les contaminations de surface.

En termes de perspectives, cette étude met en lumière la nécessité d'un suivi analytique pluriannuel et saisonnier des sources exploitées, d'une harmonisation des méthodes de dosage

inter-laboratoires, et d'une mise à jour systématique des données d'étiquetage dès lors que des dérives durables sont détectées. Elle plaide également pour un renforcement du cadre réglementaire algérien en matière de fréquence minimale des contrôles et de transparence de l'information au consommateur.

En conclusion, si les eaux embouteillées algériennes étudiées présentent une qualité microbiologique irréprochable, leur composition physicochimique est dans certains cas éloignée des valeurs déclarées sur étiquette, ce qui constitue à la fois un signal d'alerte scientifique et un enjeu de santé publique qui mérite une attention soutenue de la part des producteurs, des autorités de contrôle et de la communauté scientifique.

RECOMMANDATIONS

Au regard des résultats obtenus, plusieurs recommandations peuvent être formulées afin d'améliorer le contrôle qualité des eaux embouteillées en Algérie et d'approfondir les pistes de recherche ouvertes par ce travail.

1. Renforcer la fréquence des contrôles analytiques. Compte tenu des écarts observés entre les valeurs d'étiquette et les résultats de laboratoire pour plusieurs marques (Togi, Texanna, Soummam notamment), il est recommandé que les producteurs procèdent à une actualisation plus fréquente des analyses physico-chimiques servant de base à l'étiquetage, au moins une fois par an, et idéalement à chaque changement de saison hydrologique.

2. Standardiser les protocoles analytiques inter-laboratoires. Les divergences de balance ionique constatées entre les données d'étiquette et celles du laboratoire de la SEOR suggèrent l'intérêt d'harmoniser les méthodes de dosage entre les différents laboratoires intervenant dans la filière (laboratoires agréés producteurs, laboratoires de contrôle indépendants), et de généraliser des comparaisons inter-laboratoires périodiques afin de garantir la fiabilité des résultats.

3. Porter une attention particulière au potassium et au sodium pour certaines marques. Les teneurs élevées en potassium mesurées au laboratoire pour Togi et Soummam, ainsi que la teneur en sodium proche du seuil réglementaire pour Ifri, justifient un suivi renforcé de ces paramètres, en particulier pour protéger les consommateurs souffrant d'insuffisance rénale, d'hypertension ou de pathologies cardiovasculaires.

4. Maintenir et consolider les acquis sur le plan bactériologique. La conformité bactériologique totale (100 %) obtenue pour les sept marques étant un point fort, il est recommandé de maintenir rigoureusement les bonnes pratiques d'hygiène actuelles lors du captage, du conditionnement et du stockage, et de poursuivre une surveillance régulière afin de prévenir tout risque futur de contamination.

5. Approfondir le suivi temporel et spatial des ressources. Il serait utile, dans le prolongement de ce travail, d'effectuer un suivi saisonnier (basses eaux / hautes eaux) sur plusieurs années afin de distinguer les variations naturelles de la ressource des éventuelles dérives liées à l'exploitation, et d'élargir l'échantillonnage à d'autres marques commercialisées en Algérie pour disposer d'une vision plus représentative du marché national.

6. Sensibiliser et informer le consommateur. Enfin, il serait souhaitable que les autorités compétentes et les associations professionnelles (APAB) encouragent une meilleure communication vers le consommateur sur la signification des informations figurant sur les étiquettes (faciès hydrochimique, minéralisation, teneurs ioniques), afin de l'aider à faire un choix éclairé en fonction de ses besoins de santé spécifiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Achour, S., Youcef, L. & Guergazi, S. (2010). Conditions d'occurrence et de distribution du fluor dans les eaux souterraines algériennes. Larhyss Journal, **8**, 7–20.

Agence Nationale de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (AGIRE). (2021). Plan national de l'eau à l'horizon 2030. Ministère des Ressources en Eau, Alger.

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2020). Bilan hydrique et état des ressources en eau souterraines du nord algérien. Rapport annuel. Alger.

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2023). Données piézométriques et hydrochimiques des nappes du nord algérien. Consulté en 2024 sur : www.anrh.dz

APAB – Association des Producteurs Algériens de Boissons. (2003–2025). Qui sommes-nous / Actualités. Disponible sur : https://apab-algerie.org

Aroua, N. (2015). Les ressources en eau dans le schéma national d'aménagement du territoire en Algérie : entre nécessités économiques et exigences écologiques. In Regards croisés Nord-Sud sur le développement durable (pp. 215–228). De Boeck Supérieur.

Banque Mondiale. (2022). Water Security and Climate Resilience in North Africa: Challenges and Opportunities. Washington D.C.

Belkhiri, L., Boudoukha, A. & Mouni, L. (2011). A multivariate statistical analysis of groundwater chemistry data. International Journal of Environmental Research, **5**(1), 227–236.

Bio Intelligence Service & Tetra Pak. (2008). Analyse du cycle de vie comparatif des emballages boissons. Rapport présenté à la Commission européenne.

Bouderbala, A. (2015). Assessment of groundwater quality in the phreatic aquifer of the upper Cheliff plain, Algeria. Journal of the Geological Society of India, **86**, 299–313.

Boudoukha, A. & Boutaleb, S. (2004). Caractéristiques des eaux souterraines de la région de Batna (Aurès, Algérie). Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, **15**(2), 131–145.

Bouchaou, L., Michelot, J. L., Vengosh, A., Hsissou, Y., Qurtobi, M., Gaye, C. B., Bullen, T. D. & Zuppi, G. M. (2008). Application of multiple isotopic and geochemical tracers for investigation of recharge, salinization and residence time of water in the Souss-Massa aquifer, Morocco. Journal of Hydrology, **352**, 267–287.

Castany, G. (1982). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod, Paris.

Djabri, L. (1996). Mécanismes de la pollution et vulnérabilité des eaux de la Seybouse : facteurs naturels et humains. Thèse de Doctorat d'État, Université d'Annaba.

Drogue, C. (1985). Hydrogéologie des roches fissurées et karstiques. Masson, Paris.

El Watan. (2024). De la production à la commercialisation : le marché des eaux embouteillées en quête de recadrage. Disponible sur : https://elwatan-dz.com

ESIEC Packaging. (2024). Alternatives au plastique pour les emballages. Disponible sur : https://www.esiec.fr

FAO. (2022). AQUASTAT – Système mondial d'information sur l'eau. Consulté en 2024 sur : www.fao.org/aquastat

Fehdi, C., Rouabhia, A., Baali, F. & Boudoukha, A. (2009). The hydrogeochemical characterization of Morsott-El Aouinet aquifer, northeastern Algeria. Environmental Geology, **58**, 1611–1620.

Fekhaoui, M. & Boumaiza, M. (2018). L'industrie de l'eau embouteillée en Algérie. Revue Algérienne des Sciences Appliquées.

Freeze, R. A. & Cherry, J. A. (1979). Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

GIEC (IPCC). (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press.

GIZ / Projet FILREC. (2022–2025). Économie circulaire et gestion des emballages en Algérie. Coopération algéro-allemande.

Haddad, B. (2021). Carte géologique de l'Algérie [Illustration]. Université d'Oran 2.

Hamzaoui, F. (2019). Évaluation de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines de la wilaya de Béjaïa. Thèse de Doctorat, Université de Béjaïa.

Hazzab, A. (2011). Eaux minérales naturelles et eaux de sources en Algérie. Comptes Rendus Geoscience.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (1983). Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant Code des eaux.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (2004). Décret exécutif n° 04-196 du 15 juillet 2004 relatif à l'exploitation et à la protection des eaux minérales naturelles et des eaux de source.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (2011a). Décret exécutif n° 11-125 du 22 mars 2011 relatif à la qualité de l'eau de boisson.

Journal Officiel de la République Algérienne (JORA). (2011b). Décret exécutif n° 11-219 du 12 juin 2011 fixant les critères de qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

Kettab, A. (2001). Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision. Desalination, **136**, 25–33.

Kherici, N., Kherici-Bousnoubra, H. & Caruba, R. (2004). Vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines en zone semi-aride : cas de la plaine de Guelma (Nord-Est algérien). Sécheresse, **15**(1), 91–97.

Lakhdar, Z., Barouche, A. & Amirouche, M. (2024). L'eau minérale embouteillée en Algérie : quelles perspectives ? Revue Nature et Technologie.

Mammou, A. B. & Louati, M. H. (2007). Évolution temporelle de la qualité des eaux souterraines des aquifères de la Tunisie septentrionale. Revue des Sciences de l'Eau, **20**(2), 203–215.

Mesbah, M. (2009). Hydrogéologie et hydrochimie des eaux souterraines du bassin versant de l'Oued Soummam (Algérie). Thèse de Doctorat, Université de Béjaïa.

Ministère des Ressources en Eau et de la Sécurité Hydrique (MRESH). (2023). Rapport national sur l'état des ressources en eau en Algérie. Alger.

Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2022). Guidelines for Drinking-water Quality (4e éd., additif).

Organisation Mondiale de la Santé (OMS). (2023). Eau potable – Données et statistiques mondiales. Consulté en 2024 sur : www.who.int/water_sanitation_health

Remini, B. (2005). Problème de l'eau en Algérie. Office des Publications Universitaires, Alger.

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

Schoeller, H. (1962). Les eaux souterraines : hydrologie dynamique et chimique, recherche, exploitation et évaluation des ressources. Masson, Paris.

SPHERE. (2019). Les bioplastiques biodégradables et compostables : état des lieux. Rapport.

Tiri, A., Belkhiri, L. & Mouni, L. (2018). Evaluation of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Koudiat Medouar watershed, Algeria. African Journal of Environmental Science and Technology, **12**(6), 177–187.